Sergiu MEDAR Florin IONESCU

filtre

pentru acționări hidraulice și pneumatice

EDITURA TEHNICĂ

Scanned with OKEN Scanner

Dr. ing. Sergiu MEDAR • Dr. ing. Florin IONESCU

01.1988
Cîrîteau.

Filtre

pentru acționări hidraulice și pneumatice

EDITURA TEHNICĂ
BUCUREȘTI — 1986

Scanned with OKEN Scanner

Filtrarea adecvată a fluidului unei instalații de acționare hidraulică sau pneumatică este o problemă complexă, atît ca definire, cît și ca mod de realizare, iar selectarea unui filtru potrivit pentru o instalație dată, aflată într-un mediu oarecare, este, deopotrivă, o problemă tehnică și economică. Supradimensionarea performanței filtrului preconizat este o cheltuială inutilă, în timp ce subdimensionarea conduce la defectarea prematură a componenților mai sensibili ai instalației.

Bazată pe cele mai recente cercetări din domeniul filtrării și mijloacelor de filtrare, lucrarea tratează succesiv problemele filtrării, problemele de mecanica particulelor în fluid, stabilește metodele și mijloacele de filtrare, precizează efectele contaminării mediului hidraulic asupra diferitelor elemente componente ale instalației luate ca subsisteme independente, descrie principalele construcții de filtre și medii de filtrare. Totodată este prezentă în lucrare descrierea funcțional-analitică a filtrului prin asocierea proprietăților elementare.

Un loc important este acordat metodicii de calcul și selectare a mijloacelor de filtrare, pe baza unui suport analitic complex, algoritm validat de experiența acumulată de autori în acest domeniu și însoțit de programe de calcul în mai multe limbaje.

Lucrarea se adresează inginerilor și tehnicienilor care lucrează în domeniul acționărilor hidrostatice și pneumatice, deopotrivă proiectanților și utilizatorilor de filtre, precum și studenților facultăților tehnice.

Lucrarea a fost elaborată pe baza studiilor și cercetărilor efectuate de către autori în cadrul ICSITMUA „TITAN" — București și Institutul Politehnic București.

Contribuția autorilor la elaborarea lucrării este următoarea:

— Dr. ing. Sergiu Medar: § 3.2.3.7, f și g; capitolele 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11:

— Dr. ing. Florin Ionescu: capitolele 1;2;3;5;12.

Redactor: Ing. **Victoria POPESCU**

Tehnoredactor: **Elena GERU**
Coperta: **Valentin VIȘAN**
Desene: **Ioana DISESCU**

Bun de tipar: 25.06.1986 Coli de tipar 18,5
C.Z. 66.067.3

c. 505 I. P. Informația Str. Brezoianu nr. 23—25

Scanned with OKEN Scanner

FILTRES FOR HYDRAULIC AND PNEUMATIC DRIVES

A good filtration of a hydraulic drive system is a complex problem both for defining as for achieving it. To select a proper filter, to match it to a certain installation and to install it in certain environmental conditions, all are technical and economical problems. The overperformance filtration is a noneficient solution, while the underperformance filtration leads certainly to the fast spoilage of the most sensitive elements of the installation.

Based on the most recent researches regarding filtration and filtration means/media, the work deals successively with the filtration philosophy, the bifasic fluid mechanics, descussing the methods and means of filtration/particles separation. The work describes the efects of fluid contamination on the installation elements (taken as independent subsystems), and displays the most common technical solutions of filtration media and filters.

There is also presented in the work the functional-analytical description of the filter by association with its elementary properties. An important place is assigned to the computation and selection methods, based on advanced analytical instruments. Algorithms and progra ms for an actual numerical example are presented at the end of the work.

CONTENTS

- Determination of contamination level in liquid and pneumatic media.
- Mecanics of bifasic fluids.
- Methods of the polution level appreciation.
- Sensibility of the installation elemens to the oil contamination.
- Filtration media, means, and methods, used for filtration.
- Installations filtrating liquids for lubrication and cooling.
- Filter testing.
- Methods and design-calculus of filtration means and performances. Algorithms and programs for the complex evaluations of the filtration performances.

Scanned with OKEN Scanner

FILTRES POUR ASSERVISSMENTS HYDRAULIQUES ET PNEUMATIQUES

La filtration appropriée du fluide dans une installation d'asservissement hydraulique ou pnéumatique c'est un probléme compléxe, aussi bien du point de vue de la définition que de celui des moyens de réalisation. La méthodique de sélection d'un filtre bien accordé pour une installation donneé et emplacée dans des conditions ambientalles connues est a la foi un problème technique et économique.

La surévaluation de la performance du filtre envisagé est une dépense inutile, tandis que la sousévaluation conduit à la défection prématuré des éléments composants les plus sensibles de l'installation.

Appuit sur les plus récentes recherches dans le domaine de la filtration/séparaison et des moyens d'achévement le travail traite successivement les problèmes philosophyques de la filtration, les problèmes de la mécanique des fluides, établit les methodes et les moyens de filtration, précise également les effêts de la contamination sur les differents élements composants des installations, traités comme soussystèmes indépendants. Sont présentées egalement les differentes constructions des filtres et des éléments filtrants. Le travail présente aussi la description fonctionelle-analytique des filtres en vue de leur intégration dans les models mathématiques globals des installations. Une place importante dans l'économie de l'ouvrage est destinée à la présentation de la méthode de calcul et de sélection des moyens filtrants en faisant appel à un support analytique complexe et à des algorithmes validés par l'experience accumullée dans ce domaine. Des programmes écrits en plusieurs languages sont présentés aussi.

SOMMAIRE

- Appréciation du niveau de contamination des fluides.
- Éléments de la mécanique des fluides biphasiques.
- Méthodes pour l'apréciation du niveau de polution.
- La sensibilité des éléments des installations face à la polution des liquides.
- Moyens filtrants et filtration.
- Installations de filtration des liquides de refroidissement et lubrification.
- Essais des filtres.
- Méthodique et calculs des moyens de filtration. Algorithmes et programmes pour l' évaluation complexe des performances de la filtration.

Scanned with OKEN Scanner

FILTER FÜR HYDRAULISCHE UND PNEUMATISCHE ANTRIEBE

Die entsprechende Filterung einer hydraulischen Antriebsanlage stellt ein komplexes Problem dar, sowohl vom Standpunkt der Begriffserklärung aus als auch der Ausführungsart, und die Wahl eines entsprechenden Filters für eine bestimrute, sich in einem beliebigen Medium befindende Anlage bildet sowohl ein technisches als auch ein ökonomisches Problem Die Leistungsübersteigerung des vorgeschlagenen Filters ist eine unnötige Ausgabe, während ihre Unterschreitung den frühzeitige Ausfall der erupfindlichen Anlagenkomponenten Zu Folge hat. Ausgearbeitet auf Grund der neuesten Forschungsarbeiten im Bereich der Filterung und der Filterungsmittel, handelt das Buch, nacheinanderfolgend, von den philosophischen Fragen der Filterung, den Mechanikfragen für die sich in Flüssigkeiten befindenden Partikeln, stellt die Filterungsmethoden und — mittel fest, bestimrut die Verseuchungswirkungen des hydraulischen Mediums auf verschiedenen Bestandteile der Anlage die als selbstständige Untersystemen betrachtet sind, beschreibt die kauptsöchlichen Filteranlagen und — mittel. Zugleich, behandelt das Buch die funktionell —analytische Beschreibung des Filters, indem die elementare Eigenschaften herangezogen werden. Ein wichtiger Platz ist der Rechnungs — und Auswahlmethoden der Filterungsmittel vorbehalten, auf Grund einer vielfältigen analytischen Unterlage, eines durch die erworbene Erfahrung im betreffenden Bereich bestätigten Algorithmus, der auch von in mehren Sprachen ausgearbeiteten Rechnenprogramme begleitet ist.

INHALTSVERZEICHNIS

- Einschätzung der Verseuchungsstufe der hydraulischen und pneumatischen Medien
- Mechanikgrundsätze für zweiphasige Flüssigkeiten
- Messmethoden der Verunreinigungsgrades
- Empfindlichkeit der Anlagenelemente gegen der Flüssigkeitsmittelverschmutzung
- Filtermedien, Filterungsmethoden und — mittel
- Filteranlagen für Kühl — und Schmierflüssigkeiten
- Filterprüfung
- Projektierungsmethoden und — berechung der Filterungsmittel Algorithmen und Programrue für komplexe Aleschätzungsrechnungen der Filterungsleistungen.

Scanned with OKEN Scanner

ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ГИДРО- И ПНЕВМОПРИВОДОВ

Соответствующее фильтрование устройства гидропривода является комплексным вопросом, как по определению, так и по способу реализации, а выбор подходящего фильтра для данной установки, находящейся в некоторой среде, является, одновременно, и техническим и экономическим вопросом. Превышение характеристик предусмотренного фильтра является бесполезной тратой, тогда как их занижение ведет к преждевременной порчи более чувствительных элементов установки.

На основании новейших иоследований в области фильтрования и средств филтрования, в книге последовательно рассматриваются теоретические вопросы фильтрования, вопросы механики частиц в газах и жидкостях, устанавливаются методы и средства фильтрования, уточняются эффекты загрязнения гидравлической среды касающиеся различных составляющих элементов установки, как независимых подсистем, описываются основные конструкции фильтров и фильтрующие среды. В книге представлено также функционально-аналитическое описание объединением элементарных свойств. Значительное место уделено методике расчета и выбора средств фильтрования на основании аналитической комплексной схемы, альгоритма принятого на основании опыта аккумулированного в этой области и сопровождаемого програмами расчета на различных языках.

СОДЕРЖАНИЕ

- Оценка уровня загрязнения гидравлических и пневматических сред.
- Начала механики двухфазных сред.
- Методы измерения степени загрязнения.
- Чувствительность элементов установок к загрязнению жидкой среды.
- Фильтрующие среды, методы и средства применяемые для фильтрования.
- Установки для фильтрования охлаждающе-смазечных жилкостей.
- Испытание фильтров.
- Методика и расчет при проектировании фильтрующих средств. Альгоритмы и програмы для расчета комплексного апределения характеристик фильтрования.

Scanned with OKEN Scanner

Prefață

Sistemele de acționare hidraulică și pneumatică necesită astăzi o filtrare mai bună decît în trecut. Aceasta nu înseamnă, neapărat, o filtrare ultrafină, ci o filtrare acordată nevoilor instalației și a elementelor acesteia. Selectarea mijloacelor de filtrare, a filtrelor și a modului de plasare a acestora într-o instalație sînt factori foarte importanți, determinanți chiar, ai funcționării fără defectări a complexelor instalații din zilele noastre. În prezent, echipamentele sînt tot mai complicate, au performanțe tot mai ridicate și un grad sporit de tehnologicitate, manifestată, în primul rînd, prin toleranțe foarte strînse. Astfel, o filtrare de 3 μm pare eficientă, la prima vedere, pentru protejarea unei servovalve, dar practica a dovedit că numeroase echipamente se defectează în continuare. Procentul mare de defectări, peste 60%, ale instalațiilor, chiar înzestrate cu mijloace de filtrare considerate bune, *a condus la concluzia că studiul problemelor care determină starea de curățenie a unui mediu fluid trebuie reconsiderat. A apărut în aceste condiții nevoia de cunoaștere și analizare adecvată a ansamblului factorilor care contribuie la crearea, menținerea și ameliorarea calității/nivelului de curățenie a mediului fluid din instalațiile de acționare. Procedînd astfel, s-a ajuns la obținerea unei mai bune filtrări și, implicit, s-au creat posibilitățile de predeterminare sau de corectare a acesteia pe baze teoretice, validate de un suport experimental adecvat.*

Lucrarea prezintă mai întîi, ansamblul mijloacelor de purificare a mediului fluid, care nu întotdeauna sînt filtre, precizează, apoi, principiile teoretice care permit cuantificarea procesului și factorilor filtrării

Scanned with OKEN Scanner

și se încheie prin algoritmi și programe de calcul numeric ale performanțelor unei filtrări în situații concrete. La baza acestora se află un complex și diversificat sistem de cunoștințe de micromeritică (știința particulelor mici), de mișcare a particulelor în fluid, de curgere a fluidelor bifazice prin medii poroase și altele.

În lucrare sînt tratate, totodată, problemele referitoare la sensibilitatea elementelor la acțiunea contaminanților, la metodologiile de testare, precum și la metodologiile specifice cunoașterii și controlului procesului și stării de filtrare, la caracterizarea funcțional-analitică a filtrelor ca subsisteme dinamice, la aspectele constructive etc.

Autorii își exprimă convingerea că această lucrare va contribui la cunoașterea pe baze științifice a ansamblului problemelor filtrării și că utilizarea metodologiilor propuse pentru proiectarea unei filtrări potrivite a unei instalații date va conduce, împreună cu asigurarea unui service adecvat, la reducerea substanțială a procesului de defectări, la creșterea credibilității utilizatorilor în posibilitățile acționărilor hidraulice și pneumatice, la creșterea eficienței tehnico-economice a acestora.

AUTORII

30 iunie, 1986

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINSUL

Prefață 7

1. Introducere 12

1.1. Probleme generale 12
1.2. Probleme specifice filtrării și filtrelor 13
1.3. Impurificarea mediului hidraulic 15
1.4. Impurificarea mediului pneumatic la IAP 19
1.5. Impurificarea lichidelor folosite în instalațiile de ungere și răcire la mașinile-unelte 21

2. Aprecierea nivelului de contaminare a mediilor hidraulice și pneumatice de acționare 23

2.1. Asupra corelației dintre mărimea particulelor și efectul prezenței lor în instalație 23
2.2. Privire asupra contaminanților 24
2.3. Date asupra așchiilor rezultate din uzură 43

3. Elemente de mecanica fluidelor bifazice 46

3.1. Proprietățile fizice ale fluidelor bifazice 46
3.2. Elemente sistemice și de mecanica fluidelor mono- și bifazice pentru filtrare și filtre . Fluidele bi—și monofazice în IAH/IAP/IRU . . . 61

4. Metode și mijloace de măsurare a gradului de impurificare a mediilor fluide 101

4.1. Considerații generale asupra măsurării gradului de impurificare a mediilor fluide 101
4.2. Tehnica prelevării eșantioanelor 103
4.3. Numărarea particulelor prin metoda microscopică 108
4.4. Numărarea automată a particulelor 118
4.5. Metoda comparației 111
4.6. Metoda gravimetrică 113
4.7. Metoda de determinare a indicelui de colmatare 116
4.8. Modul de interpretare a rezultatelor 117

5. Sensibilitatea elementelor IAH/IRU la poluarea agentului lichid 121

5.1. Generalități 121
5.2. Pătrunderea contaminanților în instalații 123
5.3. Sensibilitatea la contaminare a elementlor IAH/IRU 129

6. Metode și mijloace folosite pentru filtrare 173

6.1. Filtrarea mediilor hidraulice 173
6.2. Separarea chimică a impurităților 178

7. Medii filtrante 179

7.1. Site 179
7.2. Filtre bobinate 183
7.3. Filtre lamelare 183
7.4. Împâsliturl fibroase 185

Scanned with OKEN Scanner

7.5. Pulberi sinterizate 187
7.6. Pămînturi diatomeice 189

8. Construcţia şi montajul filtrelor hidraulice 192

8.1. Filtre hidraulice montate pe conducta de aspiraţie a pompei 194
8.2. Filtre hidraulice montate pe conducta de refulare a pompei 197
8.3. Filtre hidraulice montate pe circuitul de retur 207

9. Instalaţii de filtrare a lichidelor de răcire-ungere 211

9.1. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere prin decantare 213
9.2. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu bandă filtrantă 215
9.3. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu filtre magnetice 216
9.4. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu pămînt diatomeic 217
9.5. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu separator magnetic 218
9.6. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu hidrocicloane 221
9.7. Instalaţii centrifugale pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere 224
9.8. Instalaţii combinate pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere 229

10. Filtre pneumatice 232

10.1. Filtre uscate 232
10.2. Filtre umede 234
10.3. Separatoare pneumatice 235

11. Încercarea filtrelor 236

11.1. Determinarea integrităţii structurale de fabricaţie a filtrului 236
11.2. Verificarea compatibilităţii materialului cu fluidul de lucru 238
11.3. Trasarea caracteristicii debit-cădere de presiune pe filtrul curat 338
11.4. Testul trecerilor multiple 239
11.5. Determinarea gradului şi a fineţei de filtrare 243
11.6. Determinarea rezistenţei filtrului la spargere prin contaminare 244
11.7. Determinarea rezistenţei la deformarea axială 245
11.8. Verificarea rezistenţei filtrului la oboseală datorată debitului pulsator 245
11.9. Verificarea rezistenţei filtrului la pornirea la rece 246
11.10. Verificarea detaşării particulelor din mediul filtrant 246

12. Metodica şi calculele de proiectare a mijloacelor de filtrare dintr-o instalaţie hidraulică 249

12.1. Metodica selectării mijloacelor de filtrare 249
12.2. Alegerea mediului filtrant 264
12.3. Modele complexe de calcul pentru optimizarea selectării filtrelor . . . 269
12.4. Evaluarea analitică complexă a performanţelor filtrării dintr-o instalaţie 279

Bibliografie 294

Scanned with OKEN Scanner

PRINCIPALELE NOTAȚII SPECIFICE

C[—] , concentrație de particule în fluid.
C_n[m^5/N] , capacitatea hidraulică a unei incinte.
C_R[—] , coeficient de rezistență la mișcarea particulelor în fluide.
D[%] , debitul de ocolire.
d_n[m] , diametrul nominal al particulei; e, echivalent; a, aritmetic; ar, armonic; g, geometric; m, median.
E_x[—, %] , eficiența filtrării pentru un domeniu x al dimensiunii particulelor.
e , baza logaritmului natural.
F_d[—] , funcția de distribuție statistică a particulelor.
F_R[N] , forța de rezistență la mișcarea particulelor în fluide.
$f_{n,a}$[%] , finețea de filtrare nominală, absolută.
I [N/ms] , intensitatea uzurii cavitaționale.
I_v[—] , indicele de viscozitate a fluidelor.
N [—] , număr de particule.
NP_x, n_i[—/m^3] , numărul de particule din intervalul i/x de mărime aflate în unitatea de volum.
p [N/m^2] , presiunea.
P_T [part/min] , concentrația totală a contaminantului în rezervor după t minute.
P_{SS}[part/l] , concentrația staționară a contaminantului din rezervor.
Q [m^3/s] , debitul.
Re [—] , numărul lui Reynolds.
$R_{L,T}$[(N/m^2)/(m^3/s)], rezistența hidraulică laminară și turbulentă.
S_i [—] , sensibilitatea la contaminare a unui element în intervalul de mărime a particulelor contaminante.
T [s] , durata de funcționare.
T_{SS} [min] , durata regimului tranzitoriu.
v_m [m/s] , viteza limită/staționară a particulei în fluid.
v_P [particule/timp] , viteza de pătrundere a particulelor în instalație.
x [μm] , domeniul de mărime al particulelor.
α [(m^3/—)^2/s] , coeficientul de uzură la contaminare a pompelor.
β_x[—] , factorul de filtrare.
φ [—] , sfericitatea.
K_f[—] , factorul de formă a particulei.
γ[kg/m^3] , greutatea specifică a particulei/fluidului; [—], factorul de extensie a durabilității la contaminare a componentelor.
μ[kg/ms] , viscozitatea dinamică a fluidelor.
ν[m^2/s] , viscozitatea cinematică a fluidelor.
ρ[kg/m^3] , densitatea particulei/fluidului.
σ[m], [N/m^2] , deviația standard a distribuției de mărime a particulelor și efortul unitar normal în fluid.
τ[N/m^2], [s] , efortul unitar tangențial în fluid și constanta de timp a procesului de distrugere a particulelor; durabilitatea.
ξ[—] , modulul de sedimentare.
$\varkappa$[m^2] , factorul de centrifugare.

Scanned with OKEN Scanner

1.

Introducere

1.1. Probleme generale

Utilizarea instalațiilor de acționări hidraulice și pneumatice (IAH/IAP) rămîne în continuare răspîndită, întrucît acestea reprezintă mijloace eficiente de automatizare datorită principalelor lor avantaje. Domenii ca cel aeronautic, al mașinilor-unelte, al utilajelor miniere și pentru construcții, al echipamentelor navale și utilajelor agricole etc. sînt beneficiarii statornici ai avantajelor acționărilor, hidraulică și pneumatică. Noi domenii, cum este cel al roboticii de exemplu, utilizează cu precădere și diferențiat, după destinație și sarcină, cele două moduri de acționare.

Performanțele elementelor și ale instalațiilor, în ansamblul lor, au devenit tot mai ridicate, atît ca putere și ca frecvență proprie, precum și ca presiuni de lucru. S-au atins deja, în domeniul hidraulic, puteri de acționare de ordinul zecilor de kilowați și frecvențe de peste trei sute de hertzi. Presiuni nominale de 300 bari în hidraulică și 10 bari în pneumatică sînt deja uzuale. Acest lucru a fost posibil pe baza creșterii complexității echipamentelor și a îmbunătățirilor tehnologice, între care nivelul scăzut al toleranțelor și noilor materiale sînt printre cele mai importante. Toate acestea au reprezentat un puternic salt înainte, dar un salt care a încorporat un uriaș efort de concepție și cercetare. Instalațiile au încetat a mai fi simpli convertori de energie și/sau amplificatori ai variabilelor de mișcare V_M și de efort V_E; ca urmare a progresului înregistrat și a cuplării în

Scanned with OKEN Scanner

sistemele electrice/electronice de comandă și de calcul, performanțele lor au crescut, funcțiile realizate s-au complicat.

Dar toate aceste performanțe și menținerea lor în timp nu sînt posibile fără o pregătire corespunzătoare, prin filtrare, a mediilor hidraulic/pneumatic, care reprezintă suportul energetic și de informații în instalațiile hidraulice/pneumatice de acționare. Statistica arată că peste 60% din defectările instalațiilor sînt datorate filtrării incorecte, insuficiente sau defectării mijloacelor de filtrare a mediilor fluide. În ciuda faptului că poluarea/contaminarea mediului hidraulic, de exemplu, reprezintă, așa cum s-a arătat, principala cauză a scoaterii din funcțiune a instalațiilor, multe instalații sînt încă proiectate cu filtru pe aspirația pompei ca unic mijloc de filtrare. Filtrarea în trei etape: pe aspirația pompei, pe refularea pompei și pe returul de la instalație spre rezervor reprezintă azi o soluție minimală și obligatorie la instalațiile moderne bine proiectate și în special la servosisteme (fig. 1.1).

Schimbările intervenite în construcția și tehnologia mecanică a echipamentelor au impus modificări conceptuale de îmbunătățire filtrării, nu numai prin trecerea la filtrarea ultrafină, cît și prin gîndirea atentă a unei filtrări bine acordată nevoilor efective ale elementelor și instalației. Acest nou mod de a gîndi a ridicat probleme, deopotrivă, utilizatorilor și fabricanților de mijloace de filtrare. Cercetarea a fost și este tot mai solicitată să răspundă la foarte complicatele probleme de curgere a mediilor fluide poli-bifazice prin mediile filtrante cu dispunere mai ales neuniformă a spațiilor de trecere și cu capacitate de reținere variabilă/crescătoare etc. Factori noi au fost depistați și utilizați în scopul creșterii eficienței globale (funcțională, tehnologică și economică) a filtrării; astfel, întrucît elementele IAH/IAP sînt sensibile în mod diferit la contaminarea mediului fluid, acest lucru este un factor de care se ține seama în alegerea nivelului de filtrare și pentru amplasarea filtrelor.

1.2. Probleme specifice filtrării și filtrelor

Cunoașterea și rezolvarea problemelor puse de filtre și filtrare presupun elucidarea a numeroase aspecte de natură teoretică și practică legate de mediul fluid, de elementele filtrante și de instalația în care se amplasează filtrele. Acestea reprezintă principalele subiecte tratate în lucrare și se referă, mai în detaliu, la următoarele categorii de probleme:

I. Poluarea și contaminarea mediilor hidraulic/pneumatic, sursele de impurificare și impurificatorii. Controlul contaminării;

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

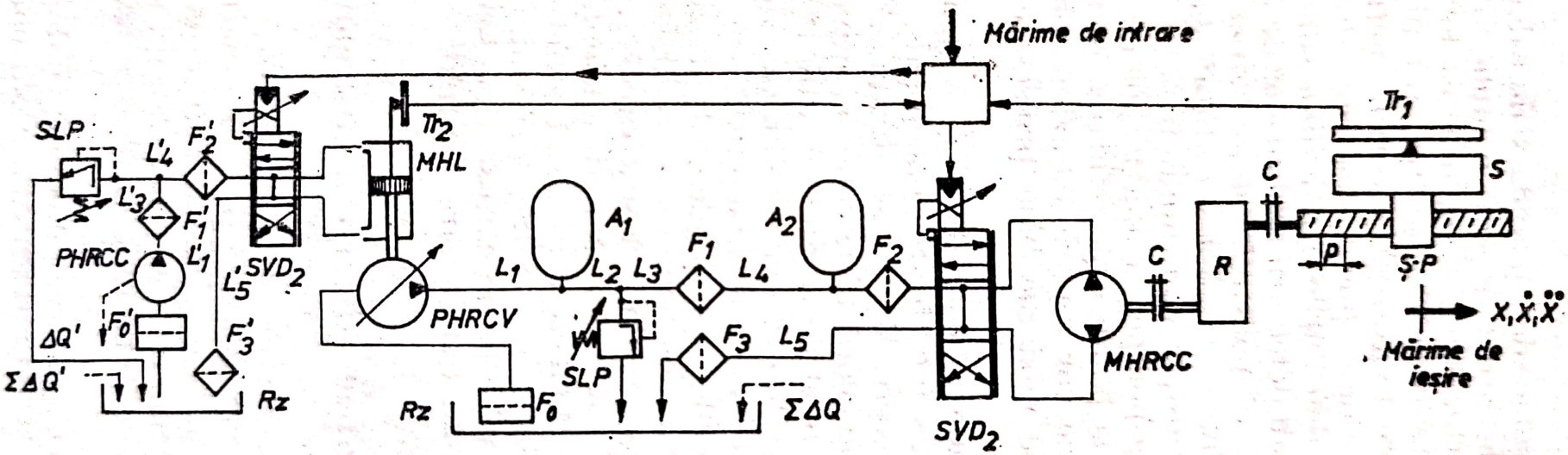


Fig. 1.1. Servosistem cu reglare volumică pentru acţionarea lanţurilor cinematice de avans şi poziţionare la maşini-unelte şi roboţi industriali.

II. Curgerea mediilor mono și bifazice prin conducte, precum și prin spațiile uniforme și neuniforme create de mediul de filtrare; sedimentarea;

III. Caracterizarea eficienței/fineței și a capacității de filtrare a unui element filtrant;

IV. Construcția și calculul filtrelor și a mediilor filtrante și aspectele hidraulice și mecanice echivalente;

V. Amplasarea filtrelor într-o instalație, alegerea filtrelor, metode de calcul în alegerea filtrelor;

VI. Întreținerea filtrelor și a mijloacelor de filtrare;

VII. Aspecte energetice și economice ale filtrării;

VIII. Consecințele contaminării mediului fluid asupra elementelor componente ale instalației și a performanțelor lor;

IX. Aspecte staționare și dinamice ale prezenței filtrelor în instalațiile de acționare hidraulică și pneumatică;

X. Verificarea menținerii în timp a calității filtrării.

1.3. Impurificarea mediului hidraulic

1.3.1. Poluarea și contaminarea mediului hidraulic

Instalațiile de acționare hidraulică folosesc, drept agent hidraulic, uleiul mineral și, de dată mai recentă, dar în plină dezvoltare, lichide pe bază de soluție înalt apoasă (High Water Base Fluids sau HWBF). Mediul hidraulic din instalația fizică prezintă un anumit grad de impurificare datorită prezenței în masa lichidă a numeroase particule străine de mediul hidraulic propriu-zis, sau datorate unor componenți proprii acestuia. Aceste particule sînt de natură fizică diferită (*lichidă*, *solidă* și *gazoasă*) și determină cantitativ și calitativ impurificarea mediului respectiv. Se spune că mediul hidraulic *este poluat în raport cu ansamblul impurificatorilor* și *este contaminat în raport cu particulele solide* prezente în fluid.

Prezența particulelor poluante are un efect mai larg asupra performanțelor elementelor și instalației, întrucît ele se referă nu numai la particulele solide ci și la poluanți gazoși, care modifică elasticitatea echivalentă a mediului hidraulic uneori pînă la 1/4 din valoarea sa, precum și la cei lichizi, dintre care unii au efect corosiv chimic asupra suprafețelor interioare ale componenților instalației. Particulele solide contaminante modifică, prin uzura

Scanned with OKEN Scanner

produsă suprafeţelor în mişcare relativă (de la pompe şi motoare rotative, distribuitoare discrete şi continue, supape, rezistenţe etc.), caracteristicile statice şi dinamice ale acestora, mergînd pînă la scoaterea lor din funcţiune.

La o instalaţie hidraulică de acţionare, ansamblul particulelor poluante afectează:

I) durabilitatea funcţională a elementelor;

II) fiabilitatea instalaţiei;

III) performanţele funcţionale, staţionare şi dinamice ale instalaţiei şi ale maşinii acţionate;

IV) frecvenţa de reparaţie a instalaţiei/maşinii;

V) siguranţa operaţională a maşinii cu implicaţii mai mari la echipamente aerospaţiale;

VI) încrederea utilizatorilor în folosirea de echipamente hidraulice;

VII) eficienţa economică a instalaţiei.

Responsabilitatea tuturor acestor consecinţe revine mai întîi proiectantului instalaţiei, care trebuie să înzestreze instalaţia cu un sistem de filtrare eficient şi economic, capabil să menţină funcţionarea elementelor/instalaţiei în limite prestabilite.

Ulterior, dacă prima condiţie este îndeplinită, responsabilitatea revine utilizatorului care trebuie să asigure menţinerea în timp, prin întreţinere adecvată, în concordanţă cu recomandările proiectantului, a calităţii filtrării realizate de instalaţie. Dacă factorii poluanţi se amplifică pe durata folosirii, utilizatorul trebuie să solicite înzestrarea instalaţiei cu mijloace suplimentare de filtrare, adecvate noii situaţii. În cuprinsul lucrării ne vom referi cu precădere la particule contaminante care au un rol predominant în procesul de filtrare/poluare.

1.3.2. Scurtă privire asupra particulelor contaminante

a) Surse de contaminare. Particulele contaminante ale mediului hidraulic din IAH provin din următoarele surse (fig. 1.2, *a*).

I) *Procesul de fabricaţie, stocare, transport şi manipulare a mediului hidraulic.*

II) *Procesul de fabricaţie a elementelor instalaţiei* (care include formarea modelelor pentru turnare, laminarea, extrudarea, aşchierea ori sudarea).

Scanned with OKEN Scanner

III) *Procesul de funcționare a elementelor instalației* care au piese în mișcare rotativă și care generează, astfel, particule contaminante prin uzură abrazivă.

IV) *Mediul ambiant* în care se găsesc numeroase particule contaminante ca praf siliconic, praf de cărbune etc. și care pătrund în

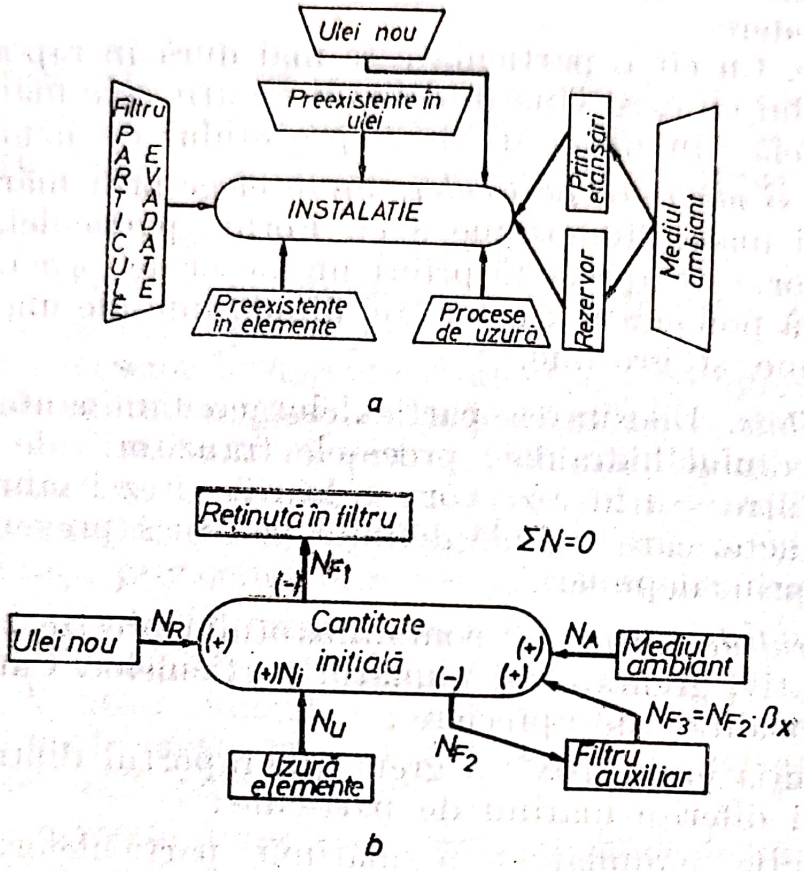


Fig. 1.2. Schemă cu sursele de contaminare.

rezervor și de aici în instalație sau direct în instalație prin etanșările culisante sau rotative.

V) *Procesul de îmbătrînire a mediului hidraulic* care eliberează compuși parafinici sau de altă natură.

VI) *Deschiderea deliberată a instalației în vederea întreținerii* și completarea acesteia cu mediu hidraulic proaspăt purtător de noi particule contaminante.

Privite altfel, particulele contaminante sînt:

— *preexistente în instalație* și în mediul hidraulic;

— *generate în instalație* de procesul de funcționare și de cel de descompunere a mediului hidraulic;

Scanned with OKEN Scanner

— *introduse în instalaţie*, intermitent, prin operaţiile de întreţinere a ei, şi continuu, de la mediul ambiant.

În fig. 1.2, *b* se prezintă schema unui bilanţ al nivelului de aport de particule din diferite surse, notat prin concentrarea cumulativă de particule specifice.

b) **Particula contaminantă** trebuie privită din următoarele puncte de vedere:

I) *Duritate*. Cu cît o particulă este mai dură în raport cu suprafaţa elementului cu care vine în contact cu atît este mai mare deteriorarea acesteia din urmă datorită procesului de uzură abrazivă.

II) *Forma şi mărimea particulei*. Se înţelege prin mărimea particulei, cea mai mare dimensiune a ei. Forma particulei, care va fi definită ulterior, este apreciată printr-un factor de formă, care reprezintă o măsură ponderată a celor trei dimensiuni ale unei particule: lungime, lăţime şi grosime.

III) *Densitate*. Densitatea particulelor contaminante afectează: densitatea mediului hidraulic; procesele tranzitorii ale particulelor în conducte, filtre sau în rezervor; valoarea vitezei minime a lichidului în conducte, care trebuie definită pentru a preveni obturarea conductelor prin depuneri.

IV) *Spectrul de mărime* al contaminantului precizează, printr-un factor cumulativ, greutatea şi numărul particulelor. Curent se folosesc două modalităţi de apreciere:

— distribuţia cumulativă a greutăţii, raportul dintre greutatea particulelor şi diferite mărimi de particule;

— distribuţia cumulativă a mărimii particulelor, raport al numărului particulelor şi diferite mărimi de particule.

V) *Compoziţia chimică*.

1.3.3. Consecinţele contaminării mediului hidraulic

Toate elementele IAH sînt sensibile, într-o anumită măsură, la contaminarea fluidului de lucru cu particule poluante solide, chiar dacă nu întotdeauna este posibil să se precizeze mărimea acesteia. Sensibilitatea fiecărui element la acţiunea contaminantului variază în funcţie de intervalul de mărime considerat a particulei, precum şi de concentraţia în fluid de particule de o anumită mărime. Principalele acţiuni ale contaminării sînt uzura şi colmatarea orificiilor la subsistemele cu deplasări de ordinul a 5—10 μm, compatibile cu

Scanned with OKEN Scanner

dimensiunea particulelor. Acestea au drept consecințe, așa cum se va prezenta mai în detaliu ulterior, alterarea comportării statice și dinamice și, în final, scoaterea din funcționare a elementului și instalației.

1.4. Impurificarea mediului pneumatic la IAP

Mediul pneumatic folosit în IAP este aerul instrumental și industrial. Impurificarea aerului se datorește următoarele cauze:

I) Poluării aerului atmosferic aspirat de compresoare și folosit în instalații;

II) Prezenței în conductele rețelei de distribuție (a aerului idustrial) și a conductelor de alimentare, a unor particule poluante; de obicei acestea sînt apă, vopsea, șpan;

III) Uzurii pieselor în mișcare relativă din compresor (mai ales) și din alte elemente cu piese în mișcare relativă din componența IAP (distribuitor, motorul cu piston, elemente logice etc.).

IV) Prezenței umezelii în aerul/agentul pneumatic, care provoacă corodarea chimică a suprafețelor active, iar, la temperaturi scăzute, îngheață provocînd blocarea pieselor în mișcare.

Aerul industrial din mediul ambiant normal al uzinelor conține în jurul a 50 mg/m^3_N sau 10^6—10^8 particule/minut; pentru încăperi „curate", acest număr ajunge la 10^5—10^6 particule/min; acest procent poate crește pînă la 200 mg/m^3_N în atelierele de turnătorie, sau 10^8—10^{10} particule/min.

În ceea ce privește umezeala, aceasta depinde de umiditatea relativă și de temperatura la care se află; capacitatea aerului de a absorbi umezeală crește cu temperatura și scade cu creșterea presiunii. Iată cîteva date exemplificatoare: în 10 m^3_N aer saturat se află 0,2 dm^3 apă la 4°C, 0,35 dm^3 la 40°C și circa 4,5 dm^3 la 70° C [14].

Filtrarea aerului pentru a fi trimis către utilizatorul (UT_1) se realizează și aici în mai multe etape, astfel (fig. 1.3): mai întîi pe aspirația compresorului (CO); apoi în decantorul (DEI) unde are loc separarea apei și uleiului; după priza de aer prin conductele secundare (L_1) din rețeaua $\{RE\}$ principală (L_0) care alimentează mai mulți consumatori, aerul este din nou trecut printr-un separator/decantor (SE/DE) de apă și ulei; apoi aerul este preluat de conductele de alimentare ale istalațiilor (L_4) și trecut printr-un grup de pregătire finală a aerului ($DPFA_1$), format din filtrul (F_2), ungător (cu ulei) al aerului (U) și regulatorul automat al presiunii (R). Pe figură

Scanned with OKEN Scanner

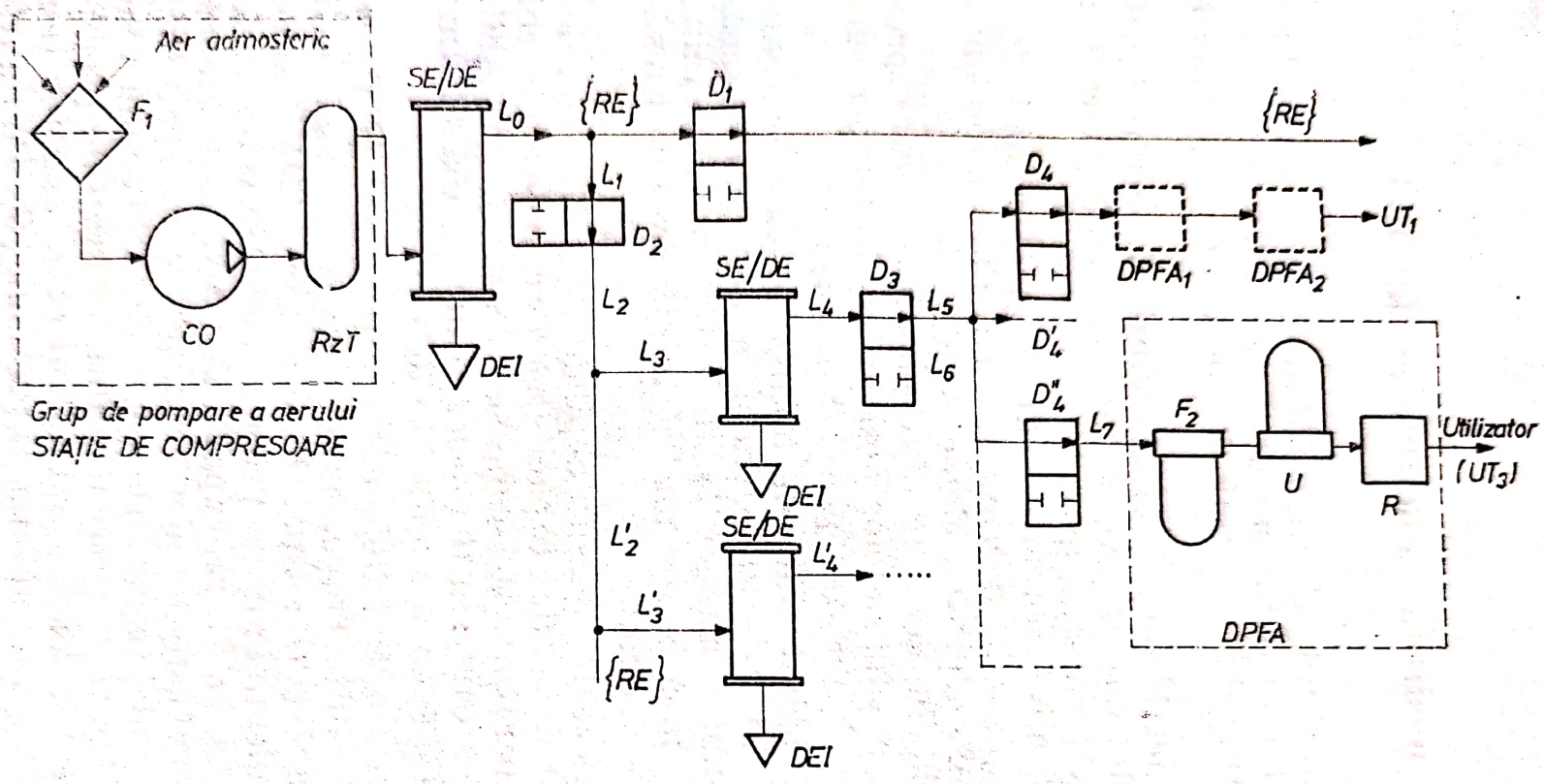


Fig. 1.3. Schemă a unei instalații de pregătire complexă a aerului cu destinație industrială și instrumentală.

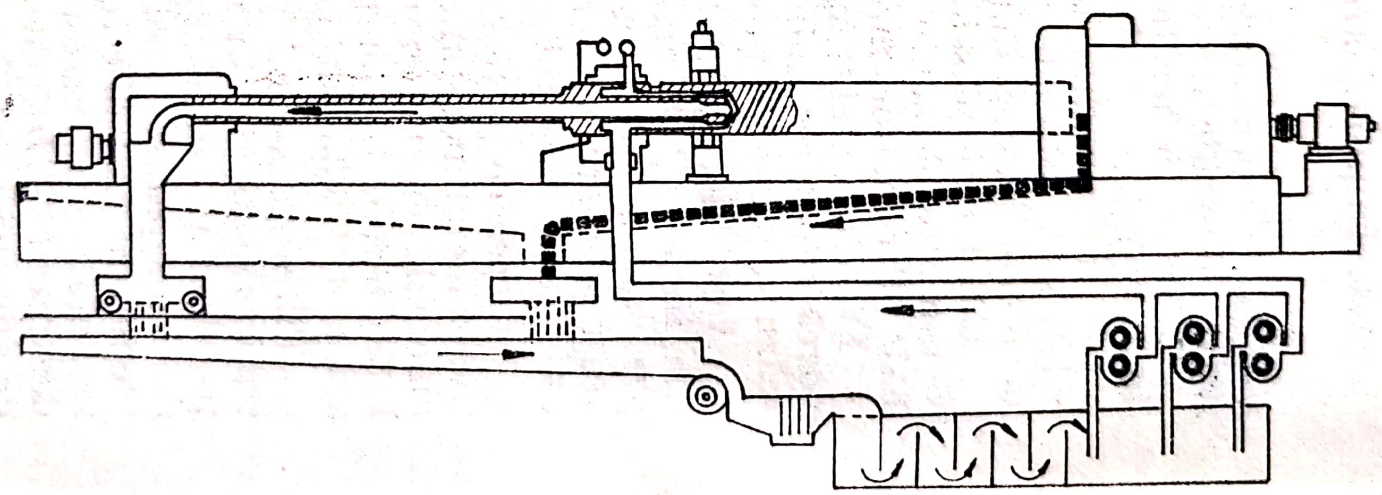


Fig. 1.4. Schema unei instalații de răcire/ungere de la o mașină de găurit adînc.

Scanned with OKEN Scanner

mai remarcăm dispozitive de evacuare automată a impurităților și a apei din decantoare (*DEI*), distribuitoare de tip robinet (*D*) și rezervor tampon (*RzT*).

În cazul în care aerul se dirijează către instalații de reglare automată pe cale pneumatică, mediul trebuie să se încadreze într-o clasă superioară de puritate și de stabilitate a presiunii și, drept urmare, o nouă pregătire a sa se impune. Aceasta este marcată prin ($DPFA_2$) pe figură.

1.5. Impurificarea lichidelor folosite în instalațiile de ungere și răcire la mașinile-unelte

Lichidele folosite ca agent în instalațiile de răcire și ungere (IRU) la mașini-unelte (MU) sînt: *uleiul* folosit în zona de așchiere, mai ales la mașinile de găurit adînc, și de danturat, și *emulsiile pe bază de soluție apoasă*, folosite la procesele de strunjire, găurire, rectificare etc. Rolul lor, așa cum rezultă din titlu, este, pe de o parte, de a răci partea activă a sculei, în primul rînd, dar simultan și piesa și așchiile, iar pe de altă parte, de a diminua frecarea dintre sculă și piesă și dintre așchii și fața de degajare a sculei (fig. 1.4).

Lichidele de răcire și ungere conțin următoarele categorii de impurități:

— impuritățile proprii datorate procesului de fabricare, transport și manipulare;

— impuritățile de tip șpan și așchii rezultate din procesul de așchiere la care se folosesc;

— impuritățile preluate din atmosfera din hală, întrucît aceste lichide curg liber din zona de așchiere spre un bazin decantor și prin etanșările mobile ale elementelor, în special la motorul liniar;

— impuritățile de diferite naturi, preexistente sau produse de instalația de pompare.

Nivelul de impurificare a lichidelor de răcire și ungere este, așadar, superior lichidelor folosite ca agent de lucru în IAH, fiind în primul rînd de natură funcțională. Totuși, este de dorit ca lichidele să ajungă în zona de răcire-ungere cu un grad ridicat de purificare corespunzător clasei 13/16 ISO, respectiv 4SAE, pentru a facilita

Scanned with OKEN Scanner

ungerea şi a nu altera calitatea contactului dintre faţa de aşezare a sculei şi piesa prelucrată. Totodată, însăşi instalaţia de pompare a lichidului este expusă procesului de uzură prin abraziune şi, din acest motiv suplimentar, contaminarea lichidului trebuie adusă în clasa mai sus arătată.

Pentru motivele arătate, lichidele de răcire şi ungere sînt supuse unui proces de separare magnetică/mecanică şi de filtrare în mai multe trepte după o tehnologie proprie care va fi prezentată detaliat, în capitolul 9.

Scanned with OKEN Scanner

2.

Aprecierea
nivelului de contaminare a mediilor hidraulice și pneumatice de acționare

Filtrarea mediului hidraulic/pneumatic este în strînsă corelație cu cantitatea de contaminanți, cu dimensiunile acestora. Totodată diferiți contaminanți influențează în mod diferit, la același nivel de contaminare, funcționarea componenților instalației.

Nivelul de contaminare a unui fluid reprezintă cantitatea de contaminant conținută în unitatea de volum a fluidului din sistem. Acest nivel diferă de la o secțiune a instalației la alta, în funcție de localizarea punctelor de intrare a contaminantului și de ieșire/filtrare a fluidului.

2.1. Asupra corelației dintre mărimea particulelor și efectul prezenței lor în instalație

În cele ce urmează ne vom referi cu precădere la IAH care pun în evidență aspectele de fond, probleme mai complexe și acoperitoare în raport cu IAP și IRU.

Ținînd seama de modul de producere, pe cale mecanică și hidraulica, a impurităților și introducere în instalații, teoretic, aproape orice mărime de particulă poate fi prezentă în mediul hidraulic din IAH.

Pentru a avea însă o opinie realistă, ținînd seama de calitatea filtrării, ne putem aștepta în mod aproape sigur ca într-o instalație

Scanned with OKEN Scanner

de acţionare hidraulică să se găsească următoarele categorii de particule, privite prin prisma mărimii, M, a lor :

— particule de mărimea fumului ($M < 1$ μm) ;

— particule de mărimea prafului de nisip (1 μm $\leqslant M \leqslant 10$ μm) ;

— particule de sedimentare ($M > 10$ μm).

Toate aceste categorii de mărimi de particule pot constitui un pericol pentru buna funcţionare a elementelor şi instalaţiilor. Este uzual ca prezenţa unor concentraţii critice (C) de particule, a căror mărime este vizibilă cu ochiul liber ($M \simeq 40$ μm), să fie fatală pentru buna funcţionare a numeroase componente. În general, însă, concentraţia critică este invers proporţională cu mărimea particulelor ($C \sim \sim 1/M$) ; de aceea, o concentraţie mare de particule mici poate fi la fel de dăunătoare ca o concentraţie mică de particule mari. Ca un caz particular, se poate arăta că, individualizat, uzura abrazivă creşte aproape linear cu mărimea particulelor.

Din cele prezentate, rezultă că este util înţelegerii fenomenelor, şi necesar pentru mai tîrziu, o trecere în revistă, mai detaliată, a particulelor poluante/contaminante, privite prin prisma proprietăţilor lor geometrice, fizice şi chimice mai reprezentative.

Astfel, cunoaşterea mărimii şi formei particulelor de contaminanţi serveşte, atît la determinarea/calculul elementului filtrant (mai evidentă este raportarea la filtrul de tip sită, de exemplu), cît şi la comportarea particulei în fluidul lichid pentru IAH şi, respectiv, fluidul gazos, pentru IAP. În acelaşi mod vor fi abordate şi celelalte proprietăţi ale particulelor.

2.2. Privire asupra contaminanţilor

Cunoaşterea unora dintre caracteristicile contaminanţilor din mediile lichide/gazoase folosite în IAH/IAP permite o mai bună apropiere de problematica mişcării particulelor în fluid, a filtrării şi a consecinţelor filtrării insuficiente sau/şi incorecte din sistemele arătate.

Dintre aceste proprietăţi ale particulelor, mai importante pentru obiectul studiului sînt următoarele : mărimea şi forma ; densitatea şi duritatea ; compoziţia chimică ; structura şi mărimea particulelor metalice rezultate din procesul de uzură internă a componenţilor ; relaţia dintre duritatea materialului şi dimensiunea particulei rezultate prin uzură etc.

Scanned with OKEN Scanner

2.2.1. Distribuţia de formă şi de mărime a particulelor

Volumele (V) şi suprafeţele/ariile (A) ale corpurilor/solidelor geometrice regulate sînt uşor determinabile. Dificultăţile apar însă atunci cînd trebuie să determinăm aceste mărimi pentru corpuri neregulate, deoarece nu se cunosc metode de a găsi un echivalent geometric exact pentru aceste corpuri. Spunem aceasta întrucît nu putem ataşa unor astfel de corpuri mărimile cunoscute: L, lungime; l, lăţime şi δ, grosime, aşa încît cu ele să se găsească o formulă exactă pentru V şi A. Lucrurile se complică şi mai mult atunci cînd corpurile sînt obţinute prin agregarea mai multor corpuri neregulate.

Din această cauză au fost elaborate, pe de o parte mijloace de echivalare a formelor particulelor neregulate, iar, pe de altă parte, au fost stabilite mijloace statistice de evaluare a volumelor şi ariilor acestora.

Metodele arătate se bazează pe măsurarea unei singure dimensiuni, de fapt cea mai mare, a particulei şi numirea ei, în mod artificial, diametru echivalent (d_e) al particulei; în felul acesta particula este asimilată unei sfere de diametru d_e. Dacă se repetă „măsurarea" acestui diametru pentru un număr suficient de mare de particule, valorile obţinute pot fi apoi prelucrate şi mediate pe o cale statistică apropriat aleasă. Se are în vedere în calcule că, conform teoriei dimensiunilor, $\langle V \rangle_{SI} = m^3$ şi $\langle A \rangle_{SI} = m^2$.

a) Mărimea geometrică echivalentă a particulelor. Oricărei particule neregulate i se poate substitui o particulă echivalentă regulată de tip cub, sferă, decaedru sau altă figură geometrică ce are V şi A cunoscute, dar, din motive statistice şi prin convenţie, se obişnuieşte a se face reducerea la o sferă echivalentă. Pentru echivalare se utilizează distanţa dintre cele mai depărtate două puncte ale particulei, după o direcţie precizată. Determinarea sferei nominale/echivalente se face cunoscînd volumul corpului; acesta se determină cu metode directe sau indirecte; astfel valoarea lui se obţine, de exemplu, prin căderea liberă în apă. Acest volum este apoi egalat cu expresia volumului sferei şi se determină diametrul echivalent d_e sau nominal d_n:

$$d_{n,e} = \left(\frac{6V}{\pi}\right)^{1/3} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}. \qquad (2.1)$$

Se defineşte, aşadar, diametrul nominal al oricărei particule neregulate, diametrul unei sfere ce are acelaşi volum.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă în unitatea de masă există N particule de densitate ρ, atunci volumul V este dat de inversul produsului ρV :

$$V = 1/\rho N, \tag{2.2}$$

iar diametrul nominal devine : $d_n = \sqrt[3]{6/\pi\rho N}$. (2.3)

În literatura de specialitate se foloseşte şi noţiunea de diametru efectiv, notat tot cu d_e şi care reprezintă diametrul sferei care cade liber între două repere fixe în acelaşi interval de timp cu particula neregulată. Pentru simplificare, în lucrare se vor folosi numai noţiunile de diametru nominal, d_n, şi diametru efectiv, notat cu d_e.

b) Mărimea hidraulică. Un alt mod de a determina diametrul sferei îl constituie utilizarea relaţiei vitezei limită la căderea liberă a unei particule într-un fluid de viscozitate cinematică ν şi densitate ρ. Considerînd mişcarea uniformă a particulei, viteza limită/staţionară, are, după [16], expresia :

$$v_m = K_s[(\rho - \rho_0)/\rho_0]\, d_n^2\, \nu^{-1}. \tag{2.4}$$

Dacă cronometrăm timpul de cădere t pe distanţa h, obţinem :

$$v_m = \frac{h}{t} \tag{2.5}$$

şi, egalînd (2.5) cu (2.4), putem extrage valoarea lui d_n

$$d_n = \sqrt{\frac{h}{t}\,\frac{K_s}{\nu}\,\frac{\rho_0}{\rho - \rho_0}}. \tag{2.6}$$

Coeficientul K_s are valori diferite. După [16], care îi citează pe Martin, G., Burke şi Plummer, avem : pentru sferă : $K_s = 54{,}5 \cdot 10^{-6}$ m^{-3}; pentru particulă neregulată de nisip/cuarţ pisat, $K_s = 35 \cdot 10^{-6}$ m^{-3}; pentru particula neregulată de cărbune : $K_s = 36 \cdot 10^{-6}$ m^{-3}. Relaţia (2.4) şi coeficientul K_s au expresii/valori diferite pentru mişcare turbulentă. În regiunea de frontieră a mişcării, expresia (2.4) capătă o nouă formă.

c) Circularitatea ε şi sfericitatea φ a particulelor. Circularitatea şi sfericitatea particulelor interesează pentru a putea aprecia proprietăţile hidrodinamice ale particulelor în fluid şi de corelare cu rezistenţa la mişcare şi cu numărul lui Reynolds. Întrucît circularitatea este greu de determinat, Wandell a dezvoltat o metodologie de măsurare indirectă a lui ε prin sfericitatea φ. Astfel, el a definit

Scanned with OKEN Scanner

— *gradul de circularitate*, ca fiind :

$$\varepsilon = C/C',$$

unde C este perimetrul real al secţiunii transversale a particulei şi C' reprezintă circumferinţa cercului sferei ce are aceeaşi arie a secţiunii transversale cu cea a particulei ;

— *gradul de sfericitate*, sub forma :

$$\varphi = S/S',$$

unde S este aria reală a suprafeţei exterioare a particulei, iar S este aria suprafeţei exterioare a sferei ce are acelaşi volum cu cel al particulei ($\varphi \geqslant 1$).

Tabelul 2.1

Sfericitatea granulelor

Material	φ	Material	φ
Nisip	2	Grafit lamelar	22
Cărbune	2,25	Gips	4
Talc	3,25	Mică	170

În tabelul 2.1 se prezintă cîteva valori ale sfericităţii în funcţie de tipul particulelor contaminante.

Procedînd astfel, Wandell a găsit că circularitatea şi sfericitatea sînt similare şi a definit-o pe ultima cu relaţia :

$$\varphi = d_n / d_{cm}, \tag{2.7}$$

unde d_{cm} este diametrul celei mai mici sfere circumscrise particulei. Experimentul Wandell a determinat că :

$$\begin{aligned} &\text{— pentru } d_n/d_{cm} > 0{,}8, \quad \varphi \simeq \psi ; \\ &\text{— pentru } d_n/d_{cm} < 0{,}8, \quad \varphi \simeq \psi + 0{,}1, \end{aligned} \tag{2.8}$$

iar φ poate fi asimilat, în aceeaşi clasă de precizie, lui ε. În relaţiile (2.8), ψ reprezintă factorul de formă (v. § 2.2.4.).

Scanned with OKEN Scanner

2.2.2. Determinarea diametrului mediu geometric

Medierea unui set de valori ale diametrului nominal d_n, obținut cu metoda de mai sus, pentru mai multe particule se poate realiza pe mai multe căi și anume : *ca medie aritmetică* ; ca medie *geometrică* ; *prin mediere procentuală* ; *pe cale statistică.*

a) Diametrul mediu aritmetic, $d_{n,a}$. Considerînd că s-au echivalat diametrele d_{nj} a mai multor particule n_j, media aritmetică este dată de expresia :

$$d_{n,a} = \frac{n_1 d_{n1} + n_2 d_{n2} + \ldots + n_n d_{nr}}{n_1 + n_2 + \ldots + n_r} = \frac{\sum_{j=1}^{r} (n_j d_{nj})_j}{\sum_{j=1}^{r} n_j} \qquad (2.9)$$

Pentru realizarea medierii, se grupează măsurătorile particulelor pe clasă de dimensiuni ale lui d_n (de exemplu pe intervalele din 5 μm în 5 μm).

În tabelul 2.2 se prezintă rezultatele aplicării metodei unui grup de particule măsurate cu micrometrul optico-electronic într-un eșantion de lichid folosit la o instalație de acționare de la o mașină-unealtă cu CN.

Folosind datele din tabel și relația (2.9), s-a obținut pentru diametrul nominal valoarea $d_{n,a} = 24{,}15$ μm.

b) Diametrul mediu geometric $d_{n,g}$. Considerînd același set de date ca mai sus, diametrul nominal mediu geometric se calculează cu relația cunoscută :

$$d_{n,g} = \sqrt[r]{d_{n1} \cdot d_{n2} \ldots d_{nr}} = \sqrt[r]{\prod_{j=1}^{r} d_{nj}}. \qquad (2.10)$$

Calculele se conduc după același mod de grupare a rezultatelor ; j reprezintă numărul curent al intervàlului în care au fost grupate măsurătorile, în cazul nostru $r = 12$ intervale. Se obține $d_{n,g} = 22{,}7$ μm.

c) Diametrul mediu armonic $d_{n,ar}$. Valoarea diametrului armonic se calculează cu relația :

$$\frac{\sum_{j=1}^{r} n_j}{d_{n,ar}} = \frac{1}{d_{n1}} + \frac{1}{d_{n2}} + \ldots + \frac{1}{d_{nr}} = \sum_{j=1}^{r} \left(\frac{n_j}{d_{nj}}\right)_j, \qquad (2.11)$$

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.2

Tabel cu rezultate ale măsurătorilor și date pentru determinarea diametrelor medii aritmetic, geometric și armonic

Nr. crt. al intervalului	Intervalul j [μm]	Diametrul, d_{nj}, mediu al intervalului [μm]	Nr. de particule n_j, din intervalul j	Produsul $n_j d_{nj}$	Raportul d_{nj}/n_j	Raportul n_j/d_{nj}
1	0 — 4,9	2,5	10	25,0	0,25	4,00
2	5 — 9,9	7,5	15	112,5	0,50	2,00
3	10 — 14,9	12,5	52	650,0	0,24	4,17
4	15 — 19,9	17,5	85	1487,5	0,21	4,76
5	20 — 24,9	22,5	81	1822,5	0,28	3,57
6	25 — 29,9	27,5	51	1402,5	0,54	1,85
7	30 — 34,9	32,5	36	1170,0	0,90	1,11
8	35 — 39,9	37,5	27	1012,5	1,39	0,72
9	40 — 44,9	42,5	17	722,5	2,50	0,40
10	45 — 49,9	47,5	10	475,0	4,75	0,21
11	50 — 54,9	52,5	7	367,5	7,50	0,13
12	55 — 59,9	57,5	4	230,0	14,38	0,07
		$\prod_{j=1}^{12} d_{nj} =$ $=1{,}8849 \cdot 10^{16}$	$m = \sum_{j=1}^{12} n_j =$ $= 395$	$\sum_{j=1}^{12} (n_j d_{nj}) =$ $= 9537{,}5$	$\sum_{j=1}^{12} \left(\frac{d_{nj}}{n_j}\right) =$ $=33{,}43$	$\sum_{j=1}^{12} \left(\frac{n_j}{d_{nj}}\right) =$ $= 23{,}0$

(1) $$d_{n,a} = \frac{\sum_{j=1}^{r} (n_j d_{nj})_j}{\sum_{j=1}^{r} n_j} = \frac{9537{,}5}{395} = 24{,}15 \ \mu m$$

(2) $$d_{n,g} = \sqrt[r]{\prod_{j=1}^{r} d_{nj}} = \sqrt[12]{1{,}884902 \cdot 10^{16}} = 22{,}7 \ \mu m$$

(3) $$d_{n,ar} = \sum_{j=1}^{r} (n_j) \cdot \frac{1}{\sum_{j=1}^{r} \left(\frac{n_j}{d_{nj}}\right)_j} = \frac{395}{23} = 17{,}17 \ \mu m$$

Scanned with OKEN Scanner

Scris altfel, se obține : $$\frac{1}{d_{n,ar}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^{r} n_j} \sum_{j=1}^{r} \left(\frac{n_j}{d_{nj}}\right)_j , \tag{2.12}$$

$$\text{sau} \quad d_{n,ar} = \sum_{j=1}^{r} n_j \sum_{j=1}^{r} \left(\frac{d_{nj}}{n_j}\right)_j = m \sum_{j=1}^{r} \left(\frac{d_{nj}}{n_j}\right)_j , \tag{2.13}$$

unde s-a notat cu $m = \sum_{j=1}^{r} n_j$.

Utilizînd datele din tabelul 2.2 se obține :

$\sum_{j=1}^{12} (n_j/d_{nj})_j = 23{,}00$ și $d_{n,ar} = 17{,}17$ μm pentru $m = 395$ particule.

Folosind același set de date experimentale, între cele trei medii există relațiile de inegalitate :

$$d_{n,ar} < d_{n,g} < d_{n,a}. \tag{2.14}$$

Într-adevăr, cu datele deținute, se poate scrie :

$$17{,}17 < 22{,}7 < 24{,}15.$$

Media armonică, fiind raportată la suprafața specifică a particulelor A_G (raportul dintre suprafață și greutate), permite determinarea suprafeței specifice medii a particulelor. Dacă există N particule pe unitatea de masă, considerate ca sfere de diametru d_n și densitate ρ, atunci se poate scrie

$$\frac{\pi d_n^3}{6} = \frac{1}{N\rho} \Rightarrow \frac{\pi d_n^3}{6} N\rho = 1 \tag{2.15}$$

Întrucît $$A_G = \pi d^2 N, \tag{2.16}$$

atunci aceasta devine : $$A_G = \frac{6}{\rho d_n}. \tag{2.17}$$

d) Diametrul median. Diametrul nominal median ($d_{n,m}$) este diametrul pentru care 50% (P_{50}) din particulele măsurate sînt mai mici decît o mărime stabilită (d_{lim}). Dacă considerăm drept limită a diametrului 30 μm, din coloana a patra a tabelului 2.3, se constată că 294 particule au $d_{nj} \leqslant 30$ μm și că procentul de 50% este de ~ 198, care se găsește în domeniul 20—25 μm. Valoarea exactă se poate determina analitic sau utilizînd graficul din fig. 2.1, care concentrează datele din coloana finală a tabelului 2.3, unde se prezintă concentrația și celelalte date necesare calculului. Propunem, în cele ce urmează, o metodă hibridă grafo-analitică, care oferă o bună

Scanned with OKEN Scanner

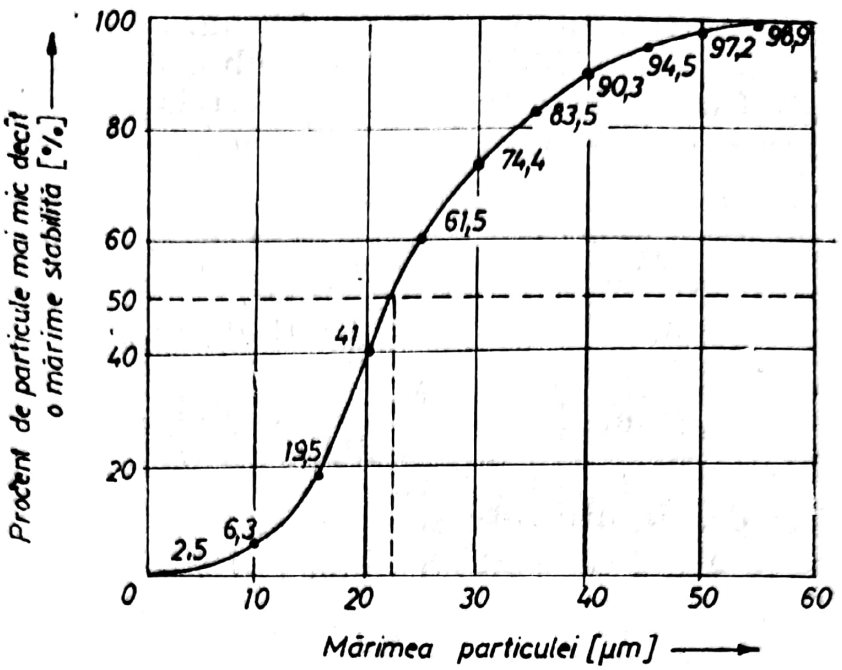


Fig. 2.1. Graficul cu procentele de particule mai mici decît o mărime stabilită în funcţie de mărimea particulei.

Tabelul 2.3

Tabel cu rezultate pentru determinarea diametrului mediu, al 395 particule măsurate optoelectric

Nr. crt. al intervalului (j)	Intervalul j [μm]	Nr. de particule n_j în intervalul j [—]	Nr. de particule mai mic decît dimensiunea maximă a grupului [—]	Procent de particule în fiecare interval [%]	Procent de particule mai mic decît dimensiunea maximă a grupului [%]
1	0—4,9	10	10	2,53	2,53
2	5—9,9	15	25	3,795	6,325
3	10—14,9	52	77	13,156	19,481
4	15—19,9	85	162	21,505	40,986
5	20—24,9	81	243	20,493	61,479
6	25—29,9	51	294	12,903	74,382
7	30—34,9	36	330	9,108	83,490
8	35—39,9	27	357	6,831	90,321
9	40—44,9	17	364	4,301	94,622
10	45—49,9	10	384	2,530	97,152
11	50—54,9	7	391	1,771	98,923
12	55—59,9	4	395	1,012	100,000
Suma		395		100,000	

Scanned with OKEN Scanner

precizie de calcul. Procentul unde curba din fig. 2.1 intersectează abscisa de 30 μm, aleasă ca limită a diametrului, este de $\simeq 74{,}4\%$ și notat cu $P_{d,lim}$. Cu aceste date, putem scrie relația de interpolare și calcula diametrul mediu al particulelor, $d_{n,m}$.

$$\frac{P_{d,lim} - P_{50}}{P_{d,lim}} = \frac{d_{lim} - d_{n,m}}{d_{lim}} \tag{2.18}$$

Din relația (2.18), se extrage $d_{n,m}$ dat de expresia :

$$d_{n,m} = d_{lim}\left(1 - \frac{P_{d,lim} - P_{50}}{P_{d,lim}}\right)[\mu m]. \tag{2.19}$$

Înlocuind datele utilizate și calculate, se obține :

$$d_{n,m} = 30\left(1 - \frac{74{,}4 - 50}{74{,}4}\right) = 20{,}16\ \mu m.$$

e) Diametrul nominal obținut pe cale statistică. Introducerea unor metode statistice pentru determinarea diametrului s-a datorat, pe de o parte, nevoii de a da medierii un sens mai apropiat de cel fizic real și, pe de altă parte, de a raporta aceste mărimi la unele proprietăți fizice cum sînt suprafața sau volumul, fapt care le dă o mai mare pondere de reprezentare a realității prin apropierea mai mare de masa particulei. În acest scop, se folosesc următoarele tipuri de formule care permit determinarea unor mărimi mediate, notate, pentru uniformitate, cu d_j (j fiind însă datorat unei particularități subliniate în text printr-o literă) :

diametrul liniar mediu, $d_l = \dfrac{\sum(n_j d_j^2)}{\sum(n_j d_j)}$; (2.20)

diametrul volumic mediu, $d_v = \sqrt[3]{\dfrac{\sum(n_j d_j^3)}{\sum n_j}}$; (2.21)

diametrul de suprafață mediu, $d_s = \sqrt{\dfrac{\sum(n_j d_j^2)}{\sum n_j}}$; (2.22)

diametrul suprafață-volum mediu, $d_{sv} = \dfrac{\sum(n_j d_j^3)}{\sum(n_j d_j^2)}$; (2.23)

diametrul masic mediu, $d_m = \dfrac{\sum(n_j d_j^4)}{\sum(n_j d_j^3)}$. (2.24)

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4

Tabel de date pentru calculul $d_{n,m}$ cu metode statistice, a diametrului distribuției a 395 particule

Nr. crt. al intervalului	Media mărimii d_j, a intervalului j [μm]	Nr. de particule, n_j, în intervalul j [—]	Produsele $n_j d_j$ [μm]	Produsele $n_j d_j^2$ [μm²]	Produsele $n_j d_j^3$ [μm³]	Produsele $n_j d_j^4$ [μm⁴]
1	2,5	10	25	62,50	156,25	390,63
2	7,5	15	112,5	843,50	6.328,13	47.460,94
3	12,5	52	650	8.125,00	101.562,50	1.269.531,25
4	17,5	85	1487,5	26.031,25	455.546,87	7.972.070,31
5	22,5	81	1882,5	41.006,25	922.640,63	20.759,414,06
6	27,5	51	1402,5	38.568,75	1.060.640,63	29.167.617,19
7	32,5	36	1170	38.025,00	1.235.812,50	40.163.906,25
8	37,5	27	1012,5	37.969,75	1.423.828,13	53.393.554,69
9	42,5	17	722,5	30.706,25	1.305.015,63	55.463.164,06
10	47,5	10	475	22.562,50	1.071.718,75	50.906.640,62
11	52,5	7	367,5	19.293,75	1.012.921,87	53.178.398,44
12	57,5	4	230	13.225,000	760.437,50	43.725.156,25
		$\sum_1^{12} n_j =$	$\sum_1^{12} (n_j d_j)_j =$	$\sum_1^{12} (n_j d_j^2)_j =$	$\sum_1^{12} (n_j d_j^3)_j =$	$\sum_1^{12} (n_j d_j^4)_j =$
		$= 395$	$= 9537,5$	$= 275.418,75$	$= 9.458.171,87$	$= 356.047.304,70$

(1) $$d_{n,l} = \frac{\sum_1^{12} (n_j d_j^2)}{\sum_1^{12} (n_j d_j)} = 28,98 \ \mu m$$

(2) $$d_{n,v} = \sqrt[3]{\frac{\sum_1^{12} (n_j d_j^3)}{\sum_1^{12} n_j}} = 28,82 \ \mu m$$

(3) $$d_{n,s} = \sqrt{\frac{\sum_1^{12} (n_j d_j^2)}{\sum_1^{12} n_j}} = 26,45 \ \mu m$$

(4) $$d_{n,sv} = \frac{\sum_1^{12} (n_j d_j^3)}{\sum_1^{12} (n_j d_j^2)} = 34,22 \ \mu m$$

(5) $$d_{n,m} = \frac{\sum_1^{12} (n_j d_j^4)}{\sum_1^{12} (n_j d_j^3)} = 37,64 \ \mu m$$

(6) $$d_{n,a} = \frac{\sum_1^{12} (n_j d_j)}{\sum_1^{12} n_j} = 24,15 \ \mu m$$

Scanned with OKEN Scanner

În tabelul 2.4 sînt prezentate datele calculate pentru a determina diametrele statistice cu relaţiile (2.2) . . . (2.24), în care s-au preluat datele de calcul din tabelul 2.2. În partea de jos sînt calculate diametrele date prin relaţiile statistice şi, pentru comparaţie, şi mărimea calculată cu relaţia (2.9) a mediei aritmetice. Se observă că mediile d_{sv} şi d_m au valorile cele mai mari şi că acestea depăşesc cu 1,5 diametrul obţinut prin media aritmetică, ceea ce arată că utilizarea unui diametru mediu corect ales poate avea o mare importanţă.

2.2.3. Caracteristicile mărime-frecvenţă

a) **Curba mărime-frecvenţă.** Din tabelul 2.2 coloana 4, constatăm că procentul frecvenţei de apariţie a unor particule de mărime dată este variabil în funcţie de intervalul de mărime. Dacă se reprezintă grafic frecvenţele arătate mai sus în raport de diametrul mediu al intervalului înscris în coloana 2 din tabelul 2.2 (sau tabelul 2.3), se obţine caracteristica de mărime-frecvenţă a particulelor reprezentată în fig. 2.2. Pe figură au fost indicate diametrele nominale median şi aritmetic. Media aritmetică împarte curba în două părţi cu arii egale sub curbă. Curba este triunghiulară şi asimetrică.

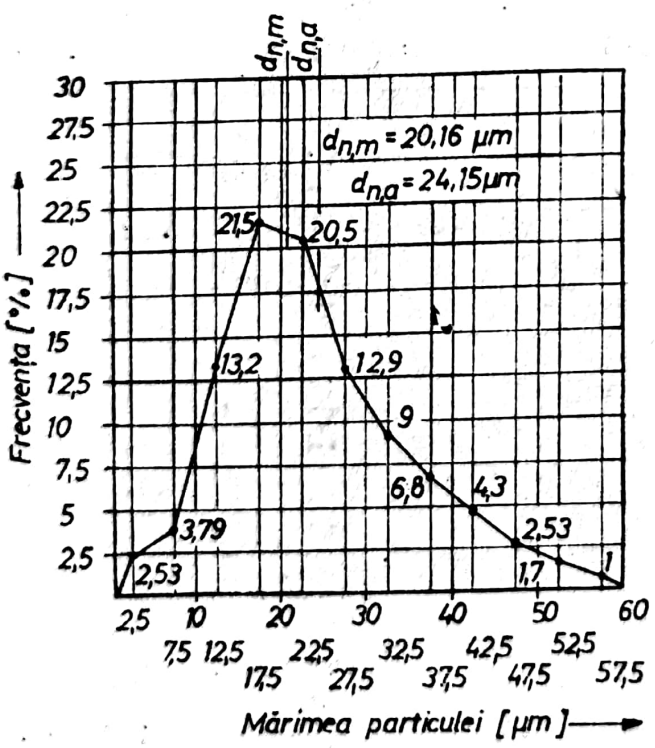


Fig. 2.2. Graficul mărime-frecvenţă a particulelor.

Trebuie arătat că dimensiunile particulei obţinute pe cele două căi (ca şi pe altele) sînt influenţate de forma curbei mărime-frecvenţă. Două tipuri de distribuţii total diferite pot avea aceeaşi medie aritmetică sau aceeaşi mărime mediană, întrucît, de fapt, există o infinitate de curbe mărime-frecvenţă avînd o dimensiune medie sau mediană precizată. Pentru a restrînge gradul de incertitudine/generalitate, este necesar să se definească alţi parametri pentru a defini distribuţia de mărime.

b) **Funcţiile de probabilitate.** Curbele din fig. 2.1 şi 2.2

Scanned with OKEN Scanner

sînt foarte apropiate, întrucît curba din fig. 2.1 este suma frecvenţelor distribuţiei de particule sub un diametru d. Aceasta se poate scrie sub forma :

$$F(d) = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}(d)}, \tag{2.25}$$

unde : $F(d)$ este funcţia de definiţie a distribuţiei de frecvenţă a particulelor avînd diametrele d_i, intervalul dintre două diametre succesive fiind un infinit mic de ordin superior, adică :

$$d_i - d_{i-1} = \Delta d; \tag{2.26}$$

q este definit ca sumă a particulelor mai mici decît o mărime precizată d.

Dacă $q(d)$ este o funcţie care defineşte curba de însumare, atunci, între oricare două particule ce au diametrele d_1 şi d_2, se poate scrie :

$$q(d_1) - q(d_2) = \int_{d_2}^{d_1} \frac{\mathrm{d}q(d)}{\mathrm{d}(d)}\, d(d) = \int_{d_2}^{d_1} F(d)\mathrm{d}(d). \tag{2.27}$$

$F(d)$ defineşte ordonarea funcţiei de distribuţie, iar produsul $F(d) \cdot \mathrm{d}(d)$ — numărul de particule în intervalul $\Delta d = d_2 - d_1$. Reprezentarea, pentru un domeniu mai larg de mărimi, se face în coordonate semilogaritmice (log în abscisă referitor la mărimea d). Se scrie, astfel, din nou relaţia (2.25), sub forma :

$$\mathrm{d}q = F(d) \cdot \mathrm{d}(d) = \frac{1}{d} d \cdot F(d) \cdot \mathrm{d}(d). \tag{2.25'}$$

Cunoscînd că : $\mathrm{d}(\ln d) = \frac{1}{d}\,\mathrm{d}(d)$, (2.28)

şi înlocuind în relaţia (2.25'), se obţine :

$$\mathrm{d}q = \mathrm{d}(\ln d) \cdot d \cdot F(d), \tag{2.29}$$

astfel încît, pentru a reprezenta produsul $d \cdot F(d)$ în funcţie de $\ln d$, care are avantajul de a extinde distribuţia de-a lungul întregului domeniu de mărimi, se scrie :

$$d \cdot F(d) = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}(\ln d)}. \tag{2.30}$$

În reprezentarea funcţiei $F(d)$, nu sînt, în general, restricţii. Se folosesc cele două ecuaţii probabilistice : *ecuaţia de probabilitate normală sau simetrică* ; *ecuaţia de probabilitate oblică sau asimetrică.*

Scanned with OKEN Scanner

Aceste două moduri de reprezentare se aplică, după cum precizează şi numele, în cazurile în care distribuţiile studiate sînt simetrice/asimetrice faţă de o axă verticală median plasată. În fig. 2.3 se prezintă cele două curbe probabilistice.

Curbele de frecvenţă asimetrică pot fi simetrizate dacă se foloseşte scara semilogaritmică (după d); acest lucru permite folosirea legii de probabilitate normală. Curba din fig. 2.2 este reprezentată în fig. 2.4 în acest mod şi, după cum s-a enunţat, devine simetrică.

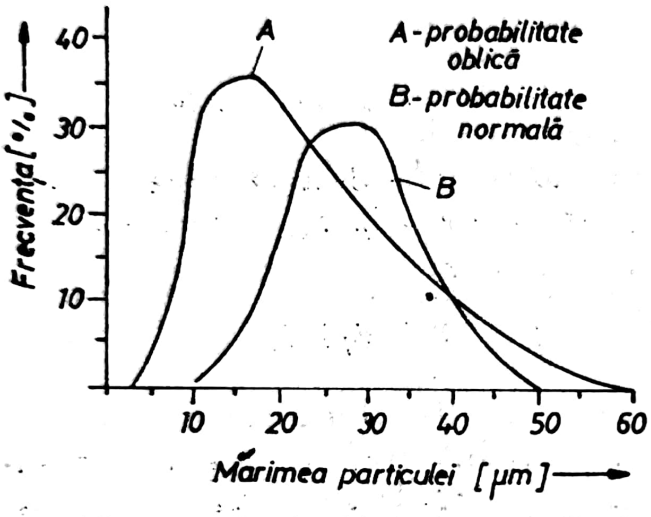


Fig. 2.3. Funcţiile de distribuţie probabilistică normală şi oblică.

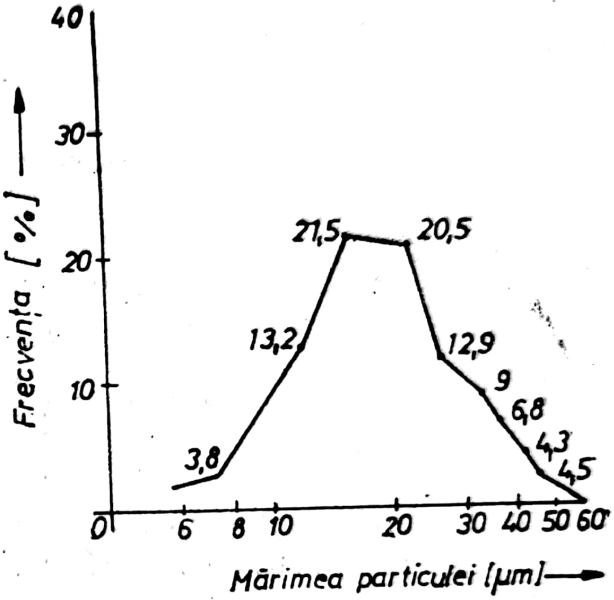


Fig. 2.4. Graficul mărime-frecvenţă trecut în scară (semilogaritmică) (d).

Dacă se aplică ecuaţia de probabilitate normală la distribuţiile de particule mărime-frecvenţă, se obţine:

$$F(d) = m = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_i}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d_n - d_{n,a})^2}{2\sigma^2}} \qquad (2.31)$$

unde: $F(d)$ este frecvenţa de observare a particulelor de diametru nominal d_n; Σn_i — numărul total al observaţiilor particulelor; $d_{n,a}$ — diametrul nominal aritmetic obţinut cu relaţia (2.9); σ — deviaţia standard, dată, la rîndul ei, prin relaţia:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [n(d_n - d_{n,a})^2]}{\sum n}}; \qquad (2.32)$$

mărimile σ şi $d_{n,a}$ descriu complet distribuţia mărime-frecvenţă a unei serii date de observaţii.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru o distribuţie aritmetică de particule, cum este cazul la lichidele din IAH/IAP, este necesar ca mărimile $d_{n,a}$ şi σ să fie înlocuite prin logaritmul lor zecimal etc. al diametrului nominal mediu geometric $d_{n,g}$ [relaţia (2.10)] şi respectiv, deviaţia standard geometrică σ_g care este dată prin relaţia (2.32) rescrisă sub forma :

$$\log \sigma_g = \sqrt{\frac{\Sigma [n(\log d_n - \log d_{n,g})^2]}{\Sigma n}}. \qquad (2.33)$$

Se obţine, pentru $F(d)$, expresia :

$$F(d) = \frac{\Sigma n}{\log \sigma_g \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log d_n - \log d_{n,g})^2}{2\log^2 \sigma_g}} \qquad (2.34)$$

e) Dimensiunea modală. Se numeşte dimensiune modală valoarea lui d pentru care curba de distribuţie frecvenţă-mărime este maximă ; în exemplul din fig. 2.2, această valoare este 21,5 μm.

Se întîlnesc două situaţii posibile.

— *Dacă curba ar fi fost simetrică/pară* în raport cu o linie verticală ce trece prin $d = 21{,}5$ μm, atunci cele trei valori mod, medie şi mediană ale distribuţiei ar fi fost identice ;

— *Dacă distribuţia este uşor asimetrică*, atunci valoare a lui d modal se obţine cu relaţia [16], atribuită lui Yule :

$$d_{mod} = d_{n;a} - 3(d_{n;a} - d_{n,m}) \qquad (2.35)$$

Ecuaţia (2.35) se aplică, cu multă precizie, la caracteristici obţinute, cu un pas Δd mai mic (decît 5 μm în cazul analizat) şi care conduce la vîrfuri mai rotunjite.

2.2.4. Alte modalităţi de definire a formei particulei

Aşa cum s-a arătat, formele particulelor ce se întîlnesc în sistemele fluide pot fi regulate (sferice, unghiulare, romboidale) şi neregulate (solzoase, rotunjite, aciculare). Pentru a putea compara, din punct de vedere numeric, aceste particule, s-a introdus noţiunea de formă şi cea de factor de formă. Un mod diferit de cel prezentat anterior, prin diametru, de a aprecia global forma unei particule este *forma relativă*. Aceasta se defineşte ca fiind raportul dintre lungimea medie şi lăţimea medie :

$$\psi = L_{med}/l_{med}[-]. \qquad (2.36)$$

Scanned with OKEN Scanner

Iată, după [32], unele valori ale lui ψ, pentru diferite particule ale unor materiale uzuale : calcar, 1,95 ; praf, 1,49 ; oxid de aluminiu, 1,48 ; şpan fin de oţel, 1,64 ; cuarţ, 1,35 ; carborund, 1,65. Curba de distribuţie a particulelor de formă neregulată de mai sus este prezentată în fig. 2.5. Şi aici este trecută valoarea factorului de formă ψ_a pentru media aritmetică, care, ca şi în fig. 2.1, este mai mare decît vîrful, iar frecvenţa de apariţie mai mică.

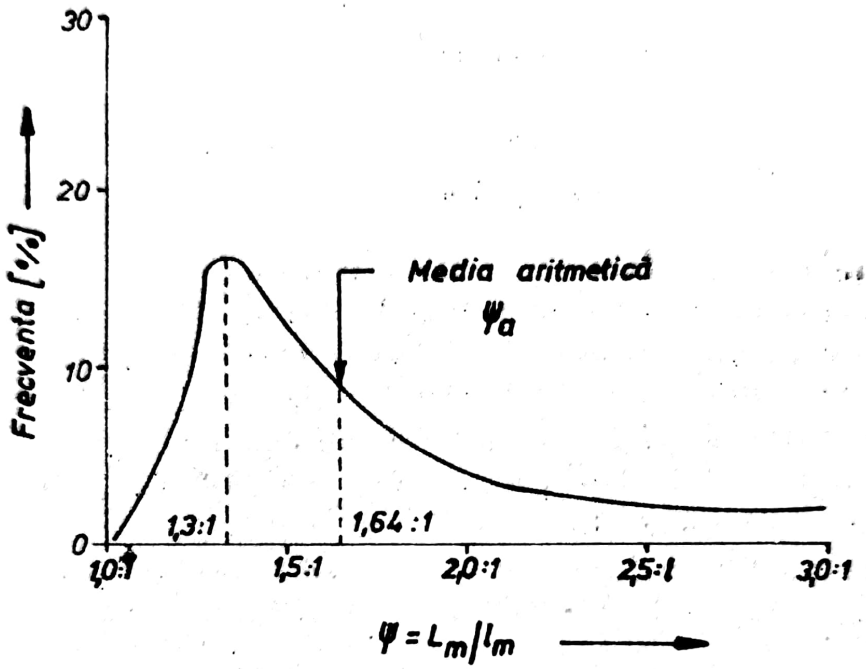


Fig. 2.5. Graficul frecvenţei particulelor în funcţie de raportul L_m/l_m al particulei.

În [32] se defineşte drept factor de formă, K_f, raportul dintre diametrul echivalent, d_e, obţinut cu relaţia (2.1), şi diametrul mediu, d_m, obţinut prin cernere. În tabelul 2.5 se prezintă valorile sfericităţii şi ale factorului de formă pentru diferite particule cu forme regulate.

Diametrul mediu se poate obţine (în afara metodelor prezentate anterior) şi pe următoarea cale, mai expeditivă. Se porneşte, astfel, de la curba granulometrică din fig. 2.1 ; se împarte curba, pe ordonată, în minim $r = 10$ intervale ; cu cît numărul este mai mare, cu atît precizia este mai mare ; se citesc pe curbă diametrele medii ale particulelor d_i. Diametrul mediu se calculează apoi cu relaţia

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^{r} d_i}{\sum_{i=1}^{r} i} = \frac{\sum_{i=1}^{r} d_i}{r}. \qquad (2.36')$$

Tabelul 2.5

Sfericitatea și factorul de formă

Formă	Sfericitate φ	d_c/d_m	Factor de formă K_f
Sferă	1,00	1,0000	1
Octaedru	1,181	0,1965	2,5
Cub	1,241	1,2400	
Prismă cu laturile			
$a \times a \times a$	1,304	1,564	
$a \times 2a \times 2a$	1,314	0,985	
$a \times 2a \times 3a$	1,379	1,127	
Cilindri cu înălțimea			
$h = 2r$	1,144	1,135	
$h = 3r$	1,163	1,31	
$h = 10r$	1,447	1,96	
$h = 20r$	1,724	2,592	
Discuri cu grosimea h			
$h = 1{,}33r$	1,16	1,00	
$h = r$	1,214	0,909	
$h = r/3$	1,683	0,630	
$h = r/10$	4,310	0,422	
$h = r/15$	3,937	0,368	5

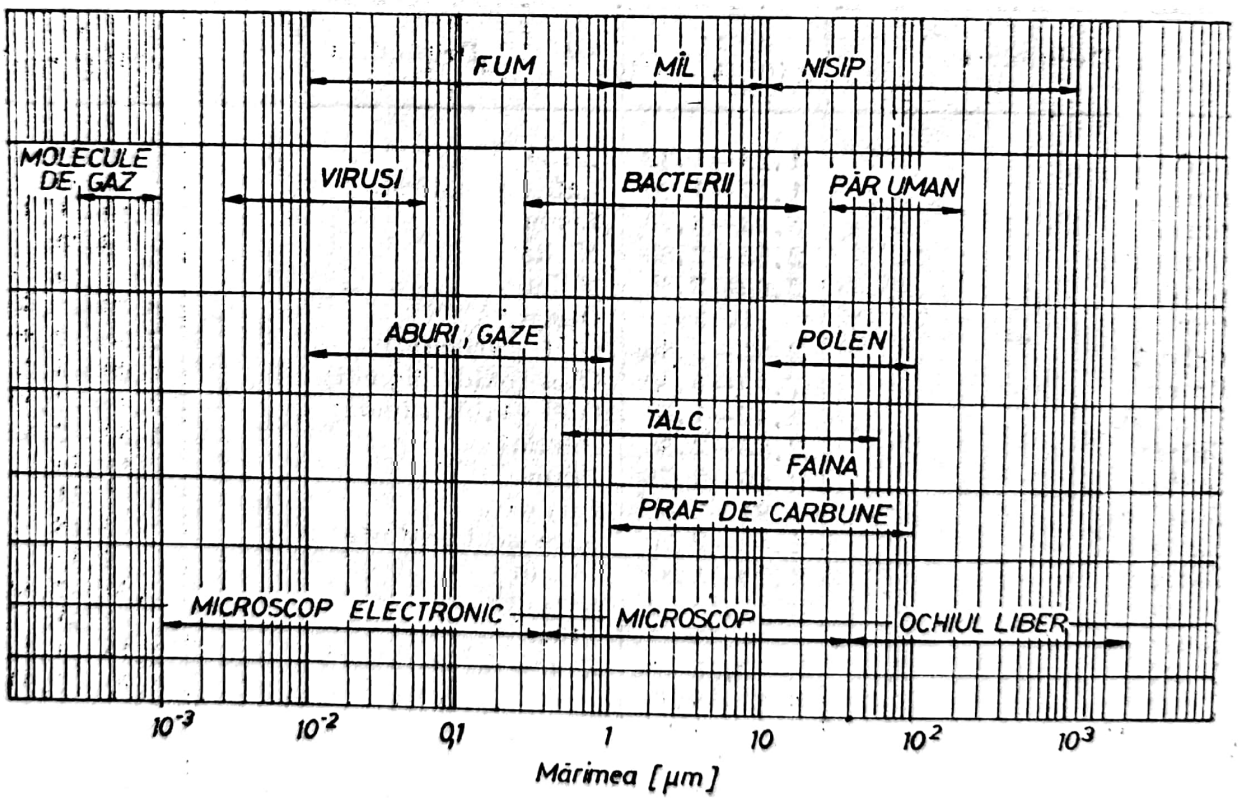


Fig. 2.6. Spectrul dimensiunii particulelor contaminante.

Scanned with OKEN Scanner

2.2.5. Spectrul de mărime al contaminanților uzuali ai mediilor fluide

Acceptînd, după [32], că mărimea unei particule contaminante poate fi, dacă altă modalitate nu este specificată, cea mai mare dimensiune a unei particule, în fig. 2.6 se prezintă imaginea spectrului de mărime a particulelor contaminante, întîlnite uzual în mediile hidraulice/pneumatice din IAH/IAP.

2.2.6. Densitatea particulelor contaminante

Densitatea, ρ, a particulelor solide se definește ca masa unității de volum sau ca o mediere a n particule.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\Sigma m_i}{\Sigma V_i}. \tag{2.37}$$

Tabelul 2.6

Densitatea diferitelor particule

Denumirea	$\rho \times 10^3$ [kg/m^3]	Denumirea	$\rho \times 10^3$ [kg/m^3]
Acetat	1,28—1,32	Iarbă	0,32
Acril	1,17—1,20	Latex polistiren	1,05
Alamă	8,40—8,70	Lemn	0,10—1,30
Aluminiu	2,55—2,80	Nichel	8,90
Argilă	2,60—2,90	Nylon	1,14
Aur	19,30	Oțel	6,70—7,90
Azbest	2,00—2,80	Oțel (carbonyl)	7,30—7,80
Bronz	7,40—8,90	Oțel (oxid, pigmet)	4,00—6,20
Bumbac	1,47—1,50	Oțel (oxid, rugină)	2,44—2,60
Calcar	2,68—2,80	Pămînt	1,80—2,60
Carton	0,69—0,75	Plumb	11,36
Cauciuc	0,91—2,00	Rășină	1,31
Cărămidă	1,40—2,20	Sare de bucătărie	2,18
Cărbune	1,20—1,80	Siliciu	2,65
Celuloid	1,40	Staniu	7,20—7,50
Crom	8,50	Sticlă	2,50
Cuarț	2,65	Zgură de la sudură	2,00—3,90
Cupru	8,80—8,90	Zinc	6,90—7,20
Diamant	3,01—3,50		
Fenol	1,30		
Gaz carbonic	1,88		
Hîrtie	0,70—1,20		

Scanned with OKEN Scanner

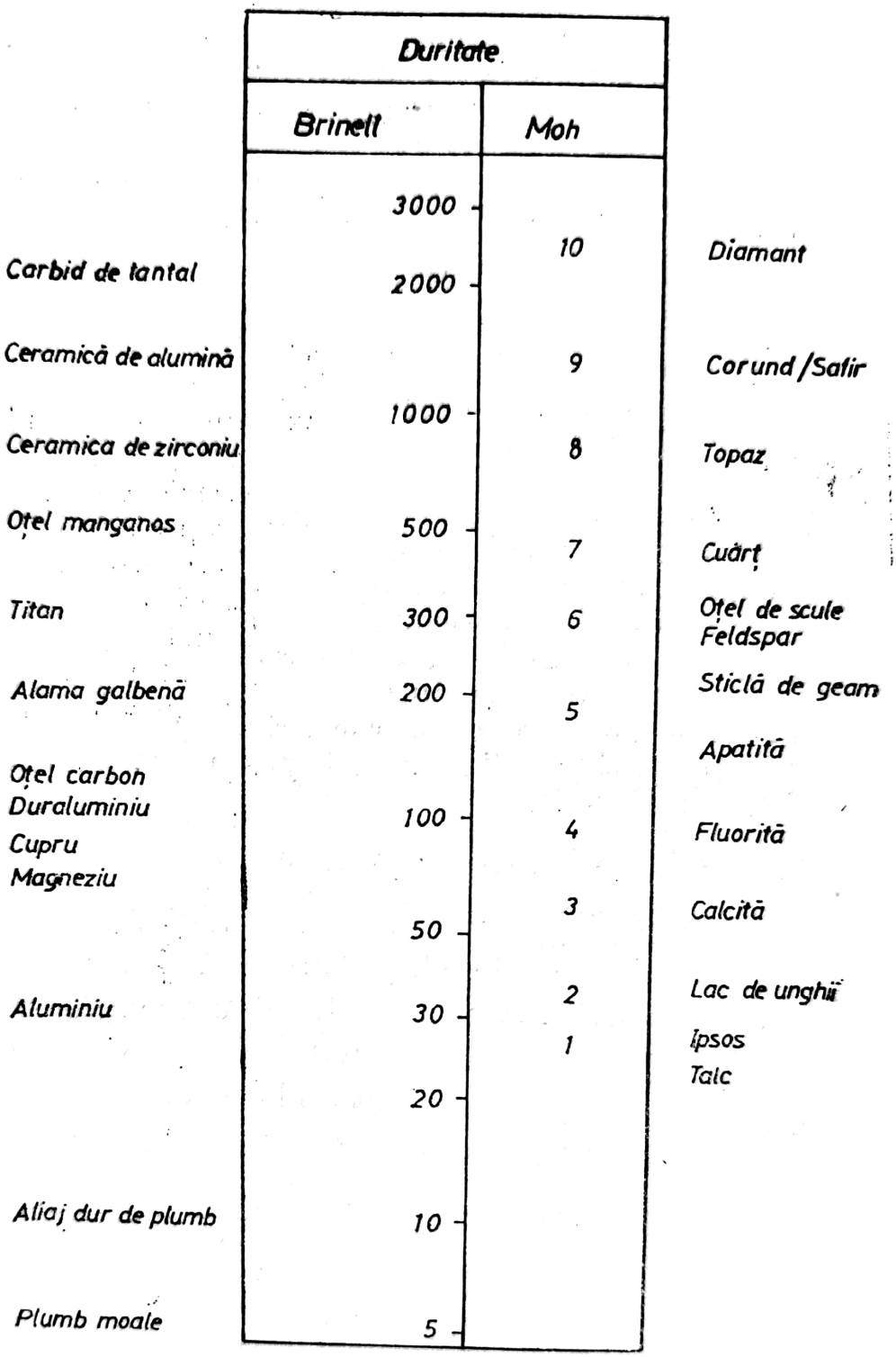


Fig. 2.7. Duritatea contaminanților în unități Brinell și Mohs.

Cunoașterea ei servește : la studiul mișcării particulelor în fluid și la calculul vitezei de sedimentare/de cădere liberă, cu implicații asupra consumurilor energetice specifice ; la calculul distanței de

Scanned with OKEN Scanner

oprire (distanţa parcursă pe orizontală de o particulă ce se mişcă orizontal într-un fluid) etc.; la calculul densităţii amestecului bifazic fluid-particule contaminante care este dependent şi de densitatea ρ a particulelor şi de densitatea ρ_0 a fluidului.

În tabelul 2.6 se prezintă valori ale densităţii celor mai răspîndite particule cu prezenţă posibilă în sistemele fluide.

2.2.7. Duritatea particulelor

Duritatea reprezintă rezistenţa unei substanţe la abraziunea suprafeţei sale de către un alt corp/particulă; astfel o particulă care este mai dură decît a suprafeţei expuse, de exemplu la contactul cu sertarul unui distribuitor sau cu o garnitură de cauciuc, este capabilă să zgîrie suprafaţa respectivă. De aceea, interesează a fi cunoscută duritatea ambelor elemente ale cuplului suprafaţă-particulă. Uneori, duritatea se apreciază în asociaţie cu tenacitatea, care reprezintă proprietatea materialului care îi permite să absoarbă energie cînd este deformată peste limita de elasticitate. Astfel, materialele ductile sînt mai tenace decît cele fragile, dar materialele fragile sînt, uzual, dure; de aceea, proprietatea de duritate trebuie privită cu multă atenţie. În fig. 2.7 se prezintă, pe scările Brinell şi Mohs, durităţile unor materiale comune şi posibil de întîlnit printre particulele contaminante ale sistemelor fluide.

2.2.8. Compoziţia chimică a contaminanţilor

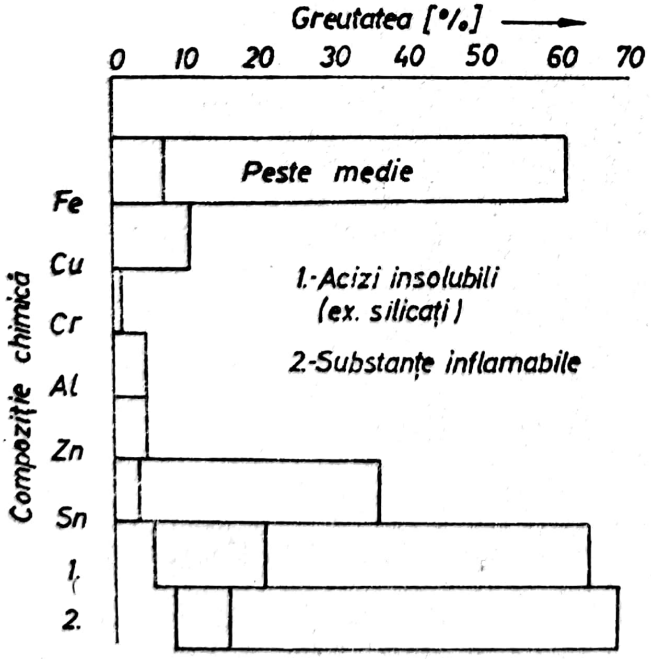


Fig. 2.8. Grafic al concentraţiei diferiţilor componenţi ai contaminanţilor.

Dat fiind faptul că provin dintr-o mare varietate de surse, particulele contaminante, prezente în mediul hidraulic al IAH, au un spectru larg de compoziţie chimică. În fig. 2.8, se arată rezultatele unui cuprinzător studiu spectrografic întreprins la Fluid Power Research Center, Ohio [29] asupra IAH la: 7 tractoare, 4 maşini de încărcat, 2 combine, 2 instalaţii industriale electrohidraulice, 4 avioane şi un excavator. În abscisa graficului este tre-

Scanned with OKEN Scanner

cut, în procente, raportul dintre masa particulei „i", m_i, şi masa eşantionului $m = \Sigma m_i$

$$p[\%] = 100 \frac{m_i}{\Sigma m_i}. \tag{2.38}$$

Pentru determinarea compoziţiei chimice a aerului, se utilizează testul denumit „Testul de curăţire fină de praf a aerului" (TCFPA) (sau ACFTD/Air Cleaner Fine Test Dust — în l. engleză), cu cele două variante: filtrare fină (FF) şi filtrare grosolană (FG). Aplicat la praful natural din Arizona [27], testul a condus la o structură de compoziţie adoptată ca standard ISO (v. cap. 12).

Cu titlu orientativ [64], se dau mai jos şi vitezele de contaminare în particule/min introduse în acestea de mediul ambiant pentru instalaţii hidraulice tipice: echipamente motopurtate: 10^8—10^{10}; instalaţii industriale: 10^6—10^8; instalaţii de asamblare din încăperi climatizate şi fără praf: 10^5—10^6.

2.3. Date asupra aşchiilor rezultate din uzură

a) Corelaţia dintre duritate şi mărimea aşchiilor. Nu se cunosc suficiente date teoretice asupra relaţiei dintre sursa de particule provenite din uzura pieselor în mişcare relativă şi cantitatea, mărimea aşchiilor. Rabinovicz [13] a arătat că, cu cît este mai dur materialul componentului supus abraziunii, cu atît este mai mică media particulelor rezultate. Următoarele date obţinute pentru $d_{n,a}$, relative la componenţii chimici de mai jos, reprezintă o dovadă a afirmaţiei de mai sus. Cu (cupru), $d_{n,a} = 250$ μm; Al, 140; oţel moale, 60; nichel, 35; oxid de fier, 1; oxid de aluminiu, 1.

b) Corelaţia dintre numărul de particule generate şi dimensiunea lor. Procesul de uzură al componentelor este influenţat de numeroşi factori (v. cap. 5) şi are o dublă consecinţă: pe de o parte alterează propriile sale performanţe, pe de altă parte este o sursă de particule contaminante care afectează, ulterior, atît elementul însuşi, cît şi pe celelalte elemente.

Dintre cauzele, de natură hidraulică, care produc generarea de particule în mediul fluid, intensitatea cavitaţiei pompei (sau a motorului rotativ etc.) are un rol deosebit. După Anton I., [2] intensitatea uzurii cavitaţionale I [N/(ms)], datorată lui Thiruvengadam,

Scanned with OKEN Scanner

reprezintă raportul dintre puterea absorbită și unitatea de suprafață. Exprimată analitic, se scrie :

$$I = \frac{\Delta V \cdot S_e}{t} \frac{1}{A_e} = \frac{\Delta V}{A_e} \frac{S_e}{t} = i \frac{S_e}{t}. \qquad (2.39)$$

În relația (2.39), s-au notat cu : ΔV [m³], volumul erodat ; S_e [N/m²], rezistența la eroziune a materialului ; A_e [m²], suprafața erodată ; t [s], momentul la care are loc fenomenul ; i [m] adîncimea medie a coroziunii. Relația (2.39) se mai poate exprima și ținînd seama de expresia rezistenței la eroziune, care, după aceleași surse, are expresia :

$$S_e = \frac{E_a}{\Delta V}, \qquad (2.40)$$

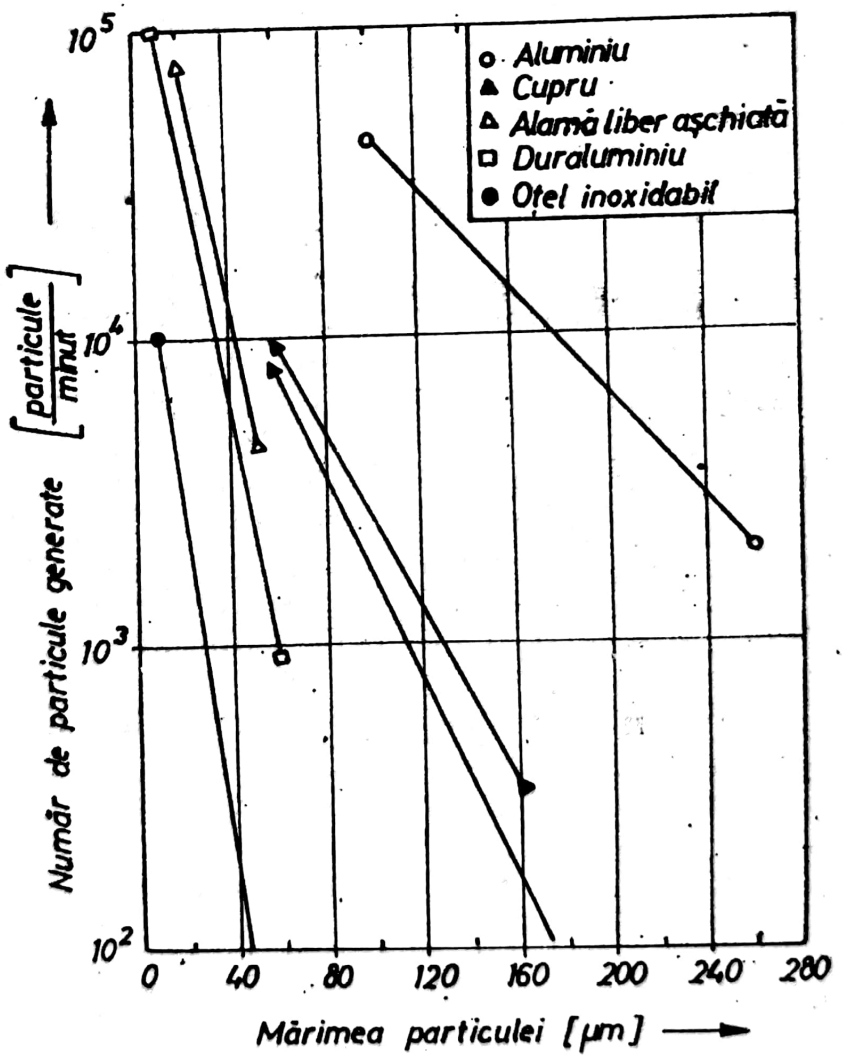


Fig. 2.9. Numărul de particule generate prin uzură în funcție de tipul materialului și de mărime.

Scanned with OKEN Scanner

unde E_a [J] reprezintă energia absorbită de materialul erodat.

Expunînd la o intensitate de uzură de 2 W/in^2 = 3,1 · 10^5 [N/(ms])] mai multe materiale, la acţiunea de eroziune, în regim cavitaţional, a apei la 27°C, Bose, R [28] a obţinut rezultatele prezentate în fig. 2.9. În figură, se prezintă, prelucrate în mod special pentru filtrare şi alegerea filtrului, numărul de particule mai mari decît o mărime indicată, generate în unitatea de timp în funcţie de mărimea particulelor.

Din graficele trasate, rezultă că materialele mai dure generează prin cavitaţie particule mici şi numeroase în unitatea de timp, pe cînd cele moi produc particule mai mari, într-un număr mai mic/ unitatea de timp.

Scanned with OKEN Scanner

3.

Elemente de mecanica fluidelor bifazice

Instalaţiile de acţionare hidraulică, pneumatică şi de răcire şi ungere, lucrează cu mediul lichid, respectiv gazos, care, oricît de bine ar fi filtrat, conţine o anumită cantitate de particule străine, de regulă stabilizată sub un nivel dat şi cunoscut. Drept urmare, mediul fluid este constituit din faze diferite aflate în amestec.

În cadrul acestui capitol, vor fi prezentate cele mai importante proprietăţi fizice şi legi ale mecanicii fluidelor care descriu comportarea fluidului bifazic. Se prezintă totodată elemente de calcul ale mişcării particulelor în fluid, care îşi găsesc aplicaţie în funcţionarea IAH/IAP/IRU, precum şi în descrierea proceselor de filtrare prin separare, centrifugare, sedimentare etc.

3.1. Proprietăţile fizice ale fluidelor bifazice

Ca fluid bifazic, mediul hidraulic şi pneumatic IAH/IAP/IRU are proprietăţi fizice care depind de natura fizică şi de proprietăţile specifice ale componenţilor participanţi la amestecul bifazic. Unele proprietăţi nu au un caracter fizic conturat şi, drept urmare, se definesc, pentru fluidul bifazic, prin analogie cu cele ale fluidului teoretic pur. Ca urmare, numeroase legi ale mecanicii fluidelor omogene şi ideal pure rămîn valabile, cu unele corecţii, pentru descrierea proprietăţilor similare ale fluidului bifazic.

Scanned with OKEN Scanner

3.1.1. Clasificarea fluidelor bifazice din IAH/IAP/IRU

După natura fazelor întîlnite în IAH/IAP/IRU se deosebesc următoarele tipuri de fluide bifazice;

— *lichid-solid* la IAH şi IRU cu mediul lichid în amestec cu particulele solide contaminante;

— *lichid-gaz* datorat la IAH prezenţei aerului (dizolvat/nedizolvat) în lichidul de lucru; tot amestec bifazic poate fi considerat aerul din IAP, în care se găsesc particule de ulei de ungere nedizolvat.

După modul în care se amestecă fazele, fluidele bifazice sînt:

— *omogene*, la care o fază se dizolvă complet în cealaltă (de exemplu, aerul dizolvat în uleiul mineral);

— *neomogene*, la care fazele sînt separate (de exemplu, nisipul sau şpanul în uleiul mineral folosit la IAP/IAH). Gradul de neomogenitate poate fi apreciat prin: *modul de dispersare* (*uniform sau neuniform*).

Mişcarea fluidului purtător de particule contaminante poate fi privită din aceleaşi puncte de vedere ca orice fluid idealizat pur/lipsit de particule, *curgerea* fiind, de obicei, *sub presiune* (în conducte, diferite elemente etc.) şi *în jeturi*, în servodistribuitoare, cu excepţia rezervorului unde curgerea este *liberă*.

3.1.2. Proprietăţile fluidului purtător

Fluidul purtător de particule contaminante în IAH este uleiul/soluţie apoasă, în IAP este aerul, iar în IRU uleiul/soluţie apoasă.

Aceste medii au drept principală proprietate fizică fluiditatea, adică proprietatea de a-şi modifica forma sub acţiunea forţelor exterioare, chiar mici, şi de a nu avea formă, ele luînd, automat, forma recipientului. În plus, fluidele gazoase nu au nici volum, ele ocupînd prin mişcarea de agitaţie browniană întregul volum aflat la dispoziţia sa.

În absenţa particulelor contaminante, fluidul se consideră continuu, omogen şi izotrop, cu excepţia punctelor, liniilor sau suprafeţelor de discontinuitate.

Asupra fluidelor acţionează următoarele forţe:

— forţe masice interioare, datorate atracţiei dintre particule, care, fiind egale două cîte două, se anulează reciproc;

Scanned with OKEN Scanner

— forţe masice exterioare, datorate acţiunii cîmpurilor exterioare (gravitaţional, magnetic, electric, centrifugal etc.) asupra particulelor Întîlnim corespunzător : $\vec{G} = \vec{mg}$; $\vec{F} = B\vec{lv}$; $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$; $\vec{F} = -m\vec{a}_N$;

— forţe de suprafaţă exterioare care apar la contactul dintre fluid şi pereţii solizi ai conductelor, ai elementelor etc., sau cu particulele contaminante ; se scrie

$$\mathrm{d}F = p_n \mathrm{d}A, \tag{3.1}$$

în care : p_n este efortul unitar de suprafaţă, [N/m²] ; efortul unitar — un vector normal pe elementul de suprafaţă $\mathrm{d}A$ şi este produsul $\vec{p}_n = -p\vec{n}$ dintre presiunea p [N/m²] şi versorul normalei $\vec{n}$ dirijat în sensul compresiunii. Efortul unitar $\vec{p}_n$ are două componente : o componentă normală, σ, datorată presiunii şi o componentă tangenţială, τ, datorată viscozităţii ;

$\mathrm{d}A$ — suprafaţa elementară pe care apasă forţa elementară, [m²].

a) Proprietăţi fizice comune lichidelor şi gazelor. Acestea sînt : densitatea, (ρ), greutatea specifică, (γ), compresibilitatea izotermă, dilataţia termică, adeziunea la suprafeţe solide, viscozitatea (ν, μ), conductibilitatea termică şi difuziunea masică [16, 39].

— **Densitatea,** ρ [kg/m³], într-un punct oarecare de fluid se defineşte ca limită a raportului dintre variaţia masei de fluid şi cea a volumului unui element de volum din jurul punctului, cînd variaţia volumului tinde către zero sau derivata continuă a masei în raport cu volumul. Se scrie astfel :

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}V}. \tag{3.2}$$

Pentru un fluid omogen, densitatea este egală cu masa unităţii de volum, adică $\rho = m/V$, avînd aceeaşi valoare în orice punct al masei de fluid.

Densitatea fluidelor este influenţată, atît de variaţia presiunii, cît şi de acea a temperaturii, conform legilor de mai jos :

$$\rho(p) = \rho_0 \, e^{\beta_p (p - p_0)} \tag{3.3}$$

$$\rho(t) = \rho_0 / [1 + \beta_t (T - T_0)] \tag{3.4}$$

Scanned with OKEN Scanner

Relaţiile pot fi cumulate în expresia :

$$\rho(p, t) = \rho_0[1 + \beta_t (T - T_0)]e^{\beta_p(p-p_0)}; \qquad (3.3-3.4)'$$

coeficienţii β_p [m²/N] şi β_t [grd^{-1}] reprezintă inversul modulelor de elasticitate $B = 1/\beta_p$ al fluidului şi, respectiv, coeficientul de variaţie a densităţii cu temperatura ($\beta_t = 0{,}0156$ grd^{-1}, pentru uleiuri). Fig. 3.1 prezintă variaţia $\rho(p)$ dată prin ecuaţia (3.3).

— **Greutatea specifică,** γ [N/m³], într-un punct din masa de fluid se defineşte ca limită a raportului dintre variaţia greutăţii ΔG şi variaţia volumului ΔV al unei unităţi de volum care conţine punctul, cînd ΔV tinde către zero. Se scrie, succesiv :

$$\gamma = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta G}{\Delta V} = \frac{dG}{dV} =$$

$$= \frac{d(mg)}{dV} = g\rho. \qquad (3.5)$$

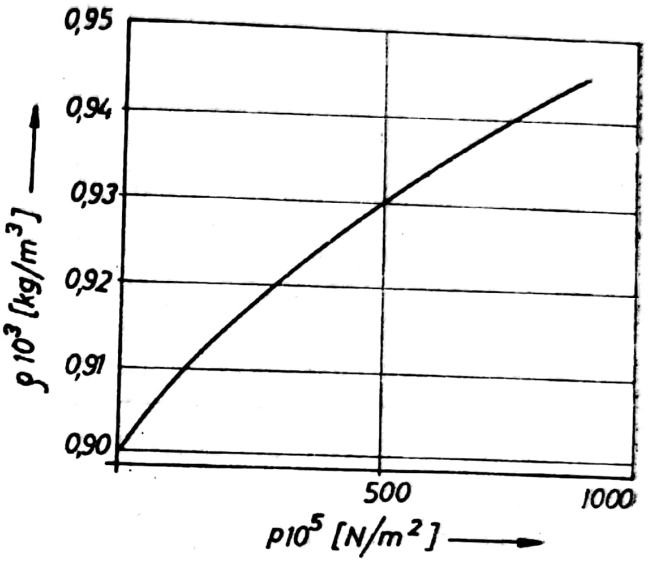


Fig. 3.1. Variaţia $\rho(p)$ la lichide.

Pentru un fluid omogen, greutatea specifică este constantă în toată masa de fluid şi egală cu greutatea unităţii de volum $\gamma = G/V$.

— **Viscozitatea** reprezintă o proprietate importantă a unui fluid şi care se evidenţiază prin tensiuni interioare tangenţiale în orice punct al suprafeţelor care separă două fluide diferite (aceleaşi) care se mişcă relativ sau între fluid (în cazul subiectului tratat în lucrare, şi pereţii elementelor IAH/IAP/IRU cu care vin în contact). Proprietăţii de viscozitate i se asociază, reflex, cele două mărimi/măsuri folosite uzual : *viscozitatea cinematică*, ν, *şi viscozitatea dinamică*, μ. La acestea se adaugă şi indicele de viscozitate.

În curgere laminară ($Re < Re_{critic}$), tensiunea tangenţială care se aplică unui element de arie, dS, este dată de legea :

$$\tau = -\mu \frac{dF}{dS} = -\mu \frac{\partial v}{\partial n}, \qquad (3.6)$$

unde $\partial v/\partial n$ reprezintă gradientul/panta variaţiei vitezei tangenţiale v cu normala n, la suprafaţa elementară considerată dS (fig. 3.2).

Scanned with OKEN Scanner

— **Adeziunea** unui fluid **la o suprafaţă solidă** este proprietatea fluidului de a adera la suprafeţele cu care vine în contact şi se datorează forţelor de atracţie moleculară dintre fluid şi solidul contactat (conducte, elemente etc.). Proprietatea este evidentă la lichide/uleiuri şi depinde de starea şi natura suprafeţei, de viscozitate etc.

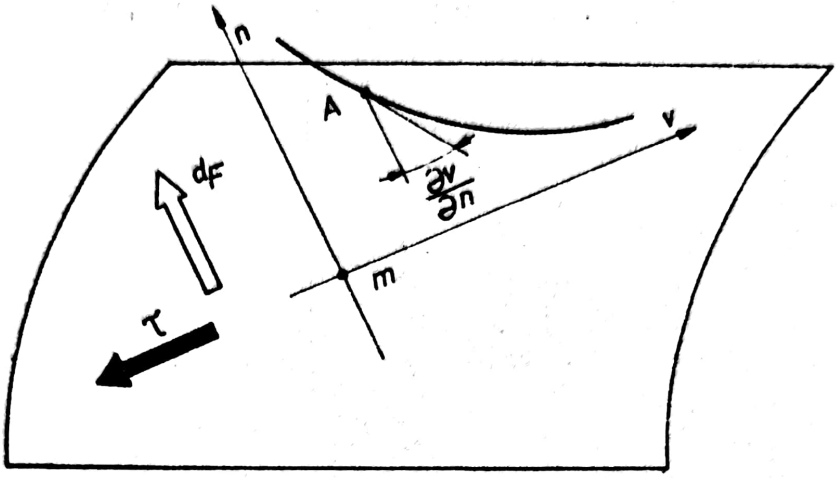


Fig. 3.2. Definiţia viscozităţii dinamice.

b) Proprietăţi fizice specifice ale lichidelor. Lichidele posedă unele proprietăţi specifice ce au o manifestare evidentă şi uneori, cu mari implicaţii, după cum se va vedea, în funcţionarea elementelor IAH/IRU în special; acestea sînt, în primul rînd, absorbţia gazelor şi degajarea gazului/cavitaţia, precum şi tensiunea superficială.

— **Absorbţia** este proprietatea lichidelor de a accepta pătrunderea, prin difuzie, a fazei gazoase formată din aer/vapori în agentul hidraulic al IAH/IRU. Cele două faze poartă denumirile de : *fază absorbantă/lichid* şi *fază absorbantă/gaz*. Fenomenul apare, după [4, 6], atunci cînd concentraţia fazei absorbante/gazoasă este mai mare decît concentraţia corespunzătoare echilibrului faţă de faza absorbantă/lichidă, pentru o presiune şi o temperatură date. Absorbţia creşte cu creşterea presiunii, procesul fiind determinat de valoarea coeficientului de solubilitate, Φ. Acesta se defineşte ca limită a raportului dintre volumul de gaz dizolvat, ΔV_a, şi cel al lichidului în care se dizolvă ΔV_u. Se poate scrie :

$$\Phi = \lim_{\Delta V_u \to 0} \frac{\Delta V_a}{\Delta V_u} = \frac{dV_a}{dV_u}; \quad \Phi_{med} = \frac{V_a}{V_u}[-]. \tag{3.7}$$

Conform legii lui Henry [35], Φ este independent de presiune.

La IAH, absorbţia gazului se datorează spumării lichidului din rezervor atunci cînd conducta de refulare nu este plasată mai adînc

Scanned with OKEN Scanner

în interiorul lichidului din rezervor în raport cu nivelul minim al acestuia. Eroarea se produce din chiar faza de proiectare, prin omisiunea de a lua în considerare faptul că IAH au consumuri diferite în diferite faze de lucru, ceea ce face ca nivelul lichidului din rezervor să varieze pe durata unui ciclu de lucru; rezervorul răsuflă cu exteriorul, lichidul poate dezveli conducta de refulare, producînd spumare, și facilitează astfel pătrunderea fazei gazoase în lcihid.

— **Degajarea gazului (cavitația)** este proprietatea gazelor, aflate în masa unei faze lichide, de a părăsi această fază (fenomen invers absorbției). Cavitația este un fenomen foarte complex și cu mari consecințe asupra funcționării mașinilor hidraulice [2] și a pompelor hidraulice (mai ales) din componenta IAH. Cavitația se produce atunci cînd concentrația fazei gazoase aflată în lichid este superioară valorii de saturație la presiunea și temperatura respectivă. La IAH, aceasta apare în zonele cu presiune scăzută, de exemplu pe aspirația pompelor greșit montate (montate cu cădere de presiune prea mare pe conducta de aspirație și deasupra nivelului lichidului din rezervor). În acest context, gazul se eliberează din lichid și o parte din lichidul de lucru, dar și apa din gaz, se vaporizează (datorită presiunii scăzute temperatura de vaporizare scade), iar lichidul hidraulic, gazul și vaporii de apă formează un mediu discontinuu. La creșterea presiunii, în zona de refulare a pompei, gazul și vaporii de lichid de lucru se reintegrează în acesta prin absorbție. Unele din efectele din spațiile supuse cavitației; ultimul efect este producător de aschii și a fost prezentat în capitolul 2.3.

3.1.3. Viscozitatea fluidelor newtoniene

Fluidele folosite în IAH/IAP/IRU sînt, în majoritatea lor, fluide newtoniene, adică respectă relația (3.6), care stabilește o legătură între forțe și elementele geometrice ale particulei detașată din fluid și viscozitate. Spre deosebire de fluidele newtoniene, fluidele nenewtoniene nu respectă această lege, iar aria lor de folosire este restrînsă la cîteva domenii cum sînt : al gresării, al lubrificării etc.

Viscozitatea reprezintă o proprietate importantă a fluidelor folosită în IAH/IAP/IRU. Măsura viscozității se face prin viscozitatea dinamică, μ, viscozitatea cinematică, ν, sau prin indicele de viscozitate I_v. În capitolul de față se trec în revistă aceste modalități de definire a viscozității, legăturile dintre ele, diferitele unități ale lui, ν, precum și variația acesteia din urmă cu temperatura.

Scanned with OKEN Scanner

a) Viscozitatea dinamică. Considerăm un element infinit mic $dV = dx \cdot dy \cdot dz$ detaşat dintr-un fluid aflat în curgerea laminară (fig. 3.3).

Pentru numeroase fluide, între care uleiul şi soluţiile pe bază de apă folosite la IAH/IRU, s-a demonstrat experimental că forţa de

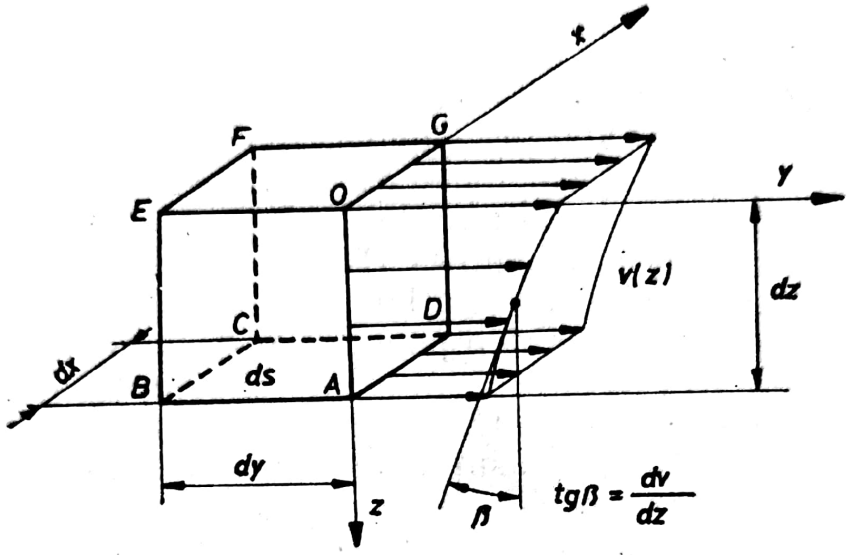


Fig. 3.3. Definiţia indicelui de viscozitate.

frecare datorată frecării dintre molecule, forţă care apare în lichidul cuprins între planele *DABCD* şi *OEFGO* paralele cu scurgerea, este :

— proporţională cu elementul de arie $dS = dx \cdot dy$;

— proporţională cu gradientul de viteză dv/dz, unde z este, după cum s-a arătat anterior, normala la suprafaţă ;

— proporţională cu un coeficient caracteristic al fluidului, dependent de temperatură, numit viscozitate dinamică, μ. Se poate aşadar scrie :

$$dF = \mu \cdot dS(dv/dz) \tag{3.8}$$

sau :

$$\tau = \frac{dF}{dS} = \mu \frac{dv}{dz}. \tag{3.9}$$

Fluidele care se supun legii (3.9) sînt numite newtoniene. Unitatea SI de măsură a viscozităţii dinamice, definită în (3.9) prin $\mu = (dF/dS)/(dv/dz)$, este :

$$\langle \mu \rangle_{SI} = \text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}, \quad \text{iar} \quad 1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Pl (poiseuille)}.$$

Ca unitate tolerată se foloseşte şi unitatea CGS, Po (poise) :

$$1\text{Po} = 1\text{gcm}^{-1}\text{s}^{-1} = 10^{-1}\text{Pl}.$$

Scanned with OKEN Scanner

b) Viscozitatea cinematică, ν, este folosită mult mai frecvent. Unităţile ei sînt, în sistemul internaţional SI :

$$\langle \nu \rangle_{SI} = \mu/\rho = \text{kg m}^{-1}\,\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^3\,\text{kg}^{-1} = \text{m}^2\,\text{s}^{-1}.$$

Ca unitate tolerată se foloseşte, frecvent, unitatea CGS stokes cu 1 St=1cm^2 s^{-1}. Practic, toate tabelele (tabelul 3.1) dau viscozităţile fluidelor în centistokes (cSt) 1 cSt =1 mm^2 s^{-1}, astfel că, pentru a reveni la unităţile SI, se foloseşte reconversia şi se obţine 1 m^2 s^{-1} = = 10^6 cSt. În unele ţări, se folosesc frecvent şi alte unităţi de măsură ale viscozităţii, mai ales la lichide, cum sînt :

— grade Engler, [°E] şi Barbey, [°B], în Franţa ;
— secunde Rotwood ["R], în Anglia şi
— secunde Saybold ["S], în Statele Unite ale Americii.

În R. S. România se foloseşte frecvent gradul Engler. Acesta se defineşte ca raport al timpilor necesari pentru scurgerea, printr-un ajutaj dat, a unor cantităţi de 200 cm^3 lichid şi a apei la 20°C.

Tabelul 3.1

Valori ale viscozităţii cinematice

Viscozitatea cinematică ν măsurată la 20°, în m^{2}s^{-1}	
Apă	1,08
Aer (la 1 atm)	16
(la 20 atm)	160
Alcool	0,7
Glicerină	650
Ulei de ricin	1000
Ulei semifluid	120
Uleiuri hidraulice standard	25...35

Între ν şi °E se poate scrie următoarea relaţie de legătură :

$$\nu = 0{,}0731°\text{E} - 0{,}0631/°\text{E} \quad [\text{cm}^2\text{s}^{-1}] \qquad (3.10)$$

În fig. 3.4, se prezintă transformările în cSt a viscozităţilor, exprimate în °E, °B, "R şi "S.

c) Indicele de viscozitate. I_v este o unitate relativă de măsurare a viscozităţii şi reprezintă, în procente, raportul :

$$I_v = 100\,\frac{A_2 - V}{A_2 - A_1}, \qquad (3.11)$$

Scanned with OKEN Scanner

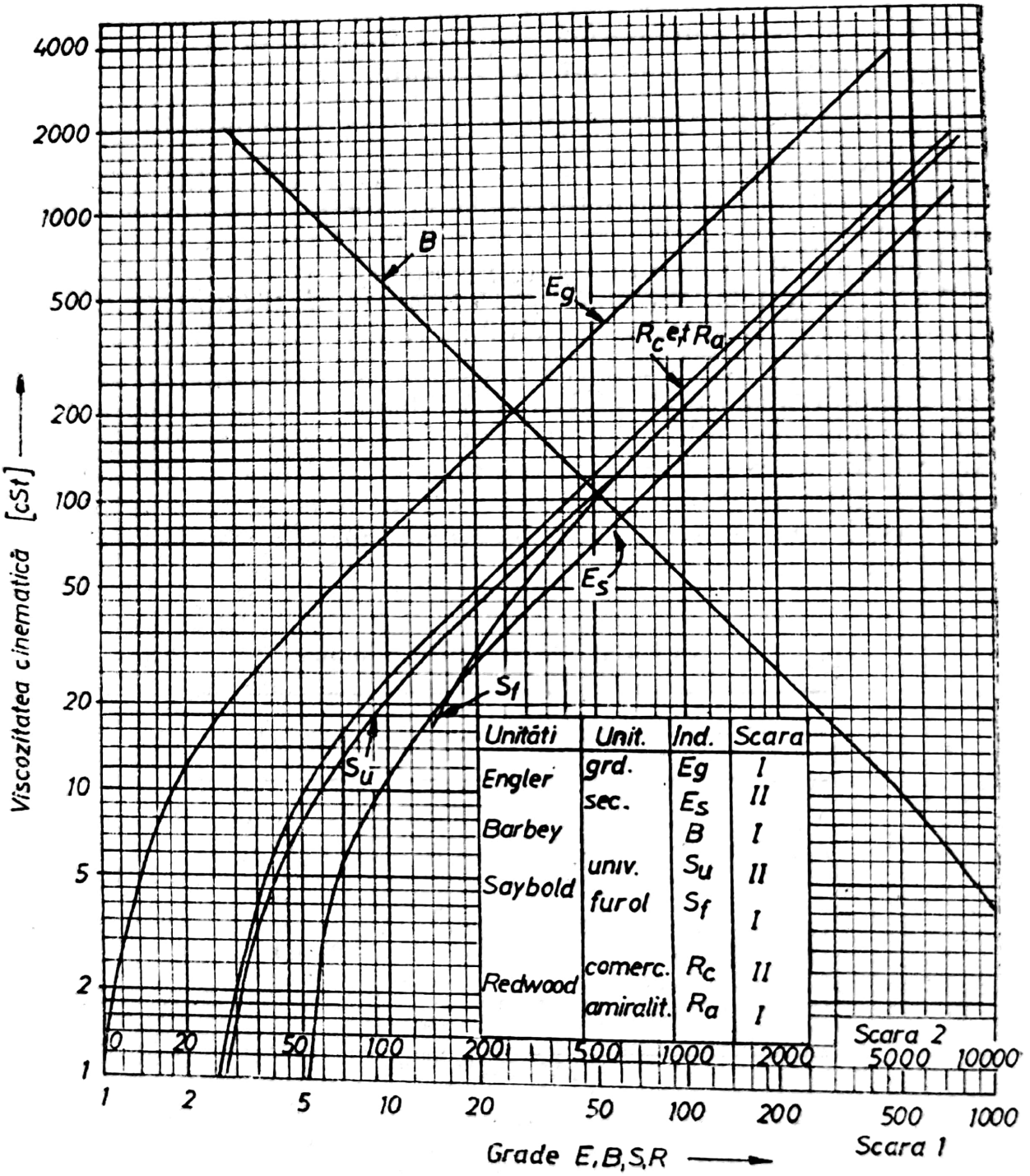


Fig. 3.4. Transformarea în cSt [mm² s⁻¹] a viscozității exprimate prin °E, °B, "S, "R

în care : V (cSt] este viscozitatea fluidului considerat la 38°C (în timp ce același fluid are viscozitatea V_e la 100°C) ; A_1 [cSt] — viscozitatea unui fluid etalon parafinic la 38°C ; A_2 [cSt] — viscozitatea unui fluid etalon naftenic la 38°C (ambele fluide au aceeași viscozitate la 100°C).

Scanned with OKEN Scanner

Mărimile V, V_e, A_1 și A_2 au fost trecute în ordonata graficului din fig. fig. 3.5. Pe această scară uleiurile etalon parafinice au $I_v = 100$, iar cele naftenice au $I_v = 0$.

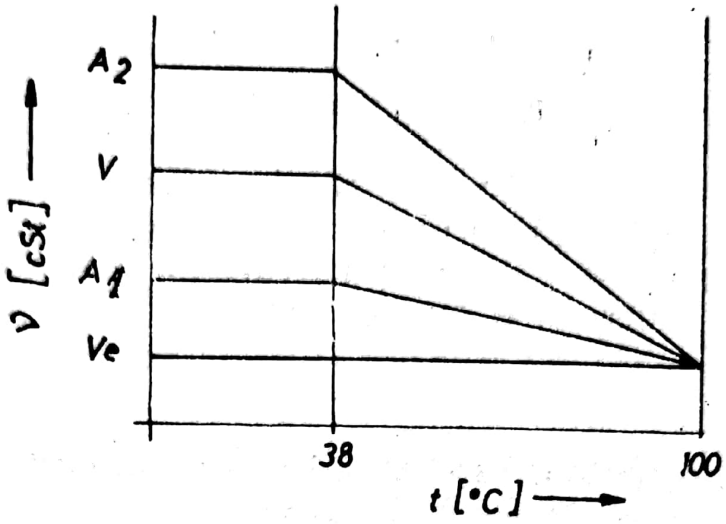


Fig. 3.5. Variația ν.

Indicele de viscozitate reprezintă o măsură a variației viscozității cu temperatura, astfel încît, cu cît I_v este mai mare, cu atît viscozitatea uleiului este mai puțin dependentă de temperatură, iar uleiul este mai bun pentru IAH/IRU.

3.1.4. Variația viscozității cu temperatura și presiunea

— *Viscozitatea dinamică a fluidelor newtoniene* este variabilă, atît cu temperatura, cît și cu presiunea de lucru. Legile de variație sînt, corespunzător, următoarele :

$$\mu = \mu_0 \, e^{-\beta_t (T - T_0)}, \text{ pentru } T \geqslant T_0; \tag{3.12}$$

$$\mu = \mu_0 e^{\beta_p (p - p_0)}, \quad \text{pentru } p \geqslant p_0, \tag{3.13}$$

unde coeficienții de variație a viscozității dinamice β_t și β_p au valorile $\beta_t = 0{,}0156$ [grd^{-1}]; $\beta_p = (4 \ldots 5)\ 10^{-9}$ [N^{-1}m^2], iar $T_0 = 273{,}15$ [K] este temperatura normală și $p_0 = 10^5$[N/m^2] este presiunea normală. Din relațiile (3.12) și (3.13), se constată că viscozitatea dinamică crește exponențial în baza e cu presiunea și scade exponențial în aceeași bază cu temperatura.

— *Viscozitatea cinematică a fluidelor newtoniene* este variabilă cu temperatura. Determinarea expresiei analitice se bazează pe relația de legătură cu viscozitatea dinamică

$$\nu = \mu / \rho \tag{3.14}$$

Scanned with OKEN Scanner

și pe dependențele $\mu(p, t)$ și $\rho(p, t)$ definite anterior. Înlocuind relațiile (3.3), (3.4), (3.12) și (3.13) în (3.14), se obține :

$$\nu(t) = \frac{\mu(p, t)}{\rho(p, t)} = \frac{\mu_0}{\rho_0} \frac{1 + \beta_t(T - T_0)}{e^{\beta_t(T-T_0)}} =$$

$$= \nu_0 e^{-\beta_t(T-T_0)} [1 + \beta_t(T - T_0)]. \qquad (3.15)$$

Raportul adimensional ν/ν_0 este reprezentat grafic, în raport cu ΔT, în fig. 3.6, unde putem observa faptul că ν scade cu creșterea temperaturii. În fig. 3.7 se prezintă variația viscozității cinematice cu temperatura pentru mai multe lichide.

3.1.5. Viscozitatea amestecurilor de lichide

Atunci cînd un lichid este format din amestecul a n lichide de viscozitate ν_i și proporție volumetrică $a_i = V_i/(\sum V_i)$, se admite că viscozitatea amestecului este dată de relația :

$$\nu = \sum_{i=1}^{n} a_i \nu_i. \qquad (3.16)$$

Această situație poate fi întîlnită la IAH/IRU a mașinilor-unelte și a roboților industriali.

3.1.6. Viscozitatea fluidelor nenewtoniene/reologice

Spre deosebire de fluidele newtoniene, definite anterior, fluidele nenewtoniene nu mai au aceeași definiție, liniară cu dv/dn, a efortului tangențial [30, 35]. După legea de variație a efortului tangențial τ, se cunosc următoarele fluide viscoase ce au legi proprii de variație ale lui τ în funcție de gradientul vitezei (dv/dn) :

— *fluide viscoplastice*, pentru care se cunosc două legi ale lui τ :

$$\tau = \tau_0 + K(dv/dn)^{\alpha}, \qquad \text{cu } \alpha = 1, \qquad (3.17)$$

pentru fluidul cu plasticitate de tip Bingham, ideală ;

$$\tau = \tau_0 + K(dv/dn)^{\alpha}, \quad \text{cu } \alpha > 1, \qquad (3.18)$$

Scanned with OKEN Scanner

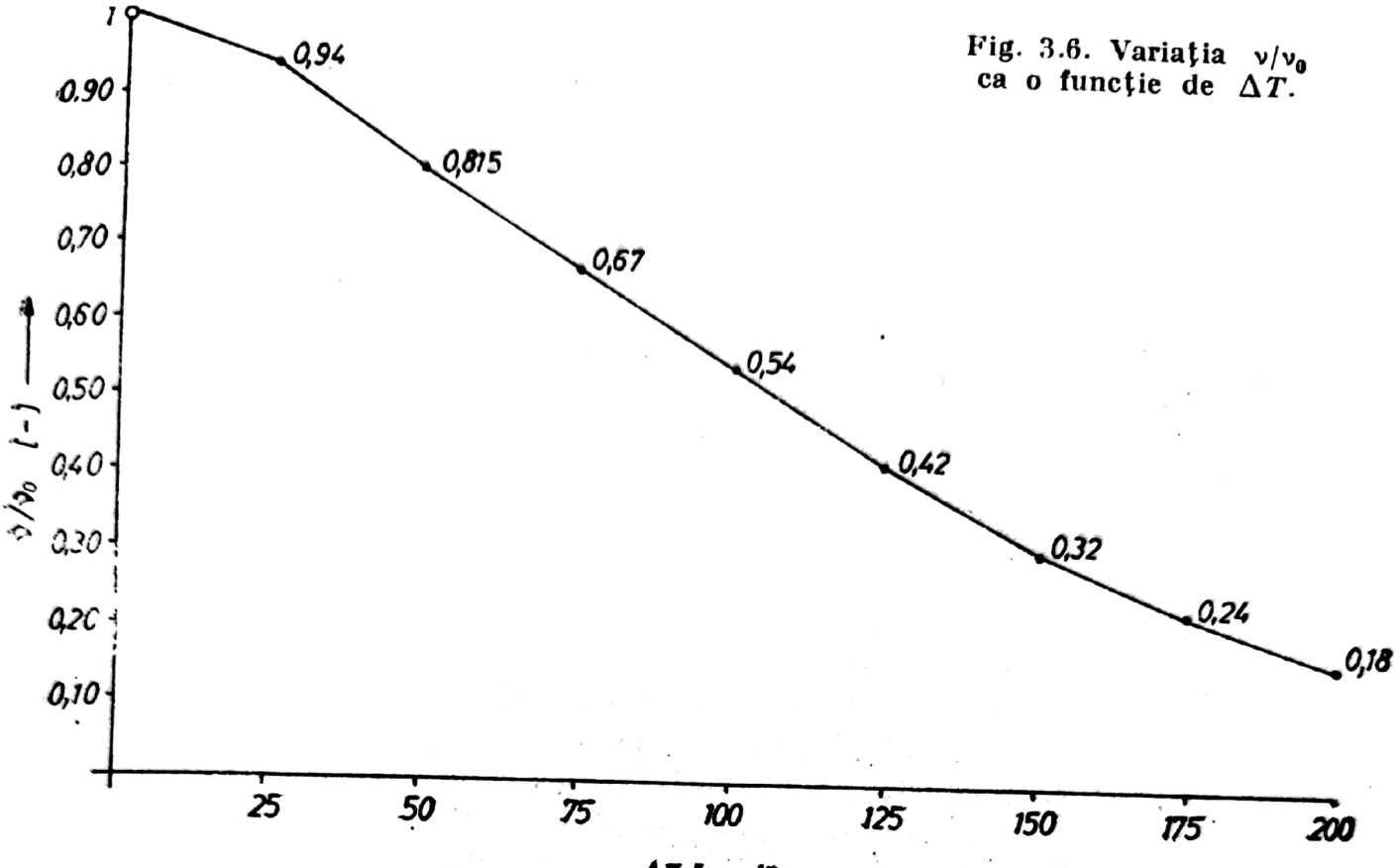


Fig. 3.6. Variația ν/ν_0 ca o funcție de ΔT.

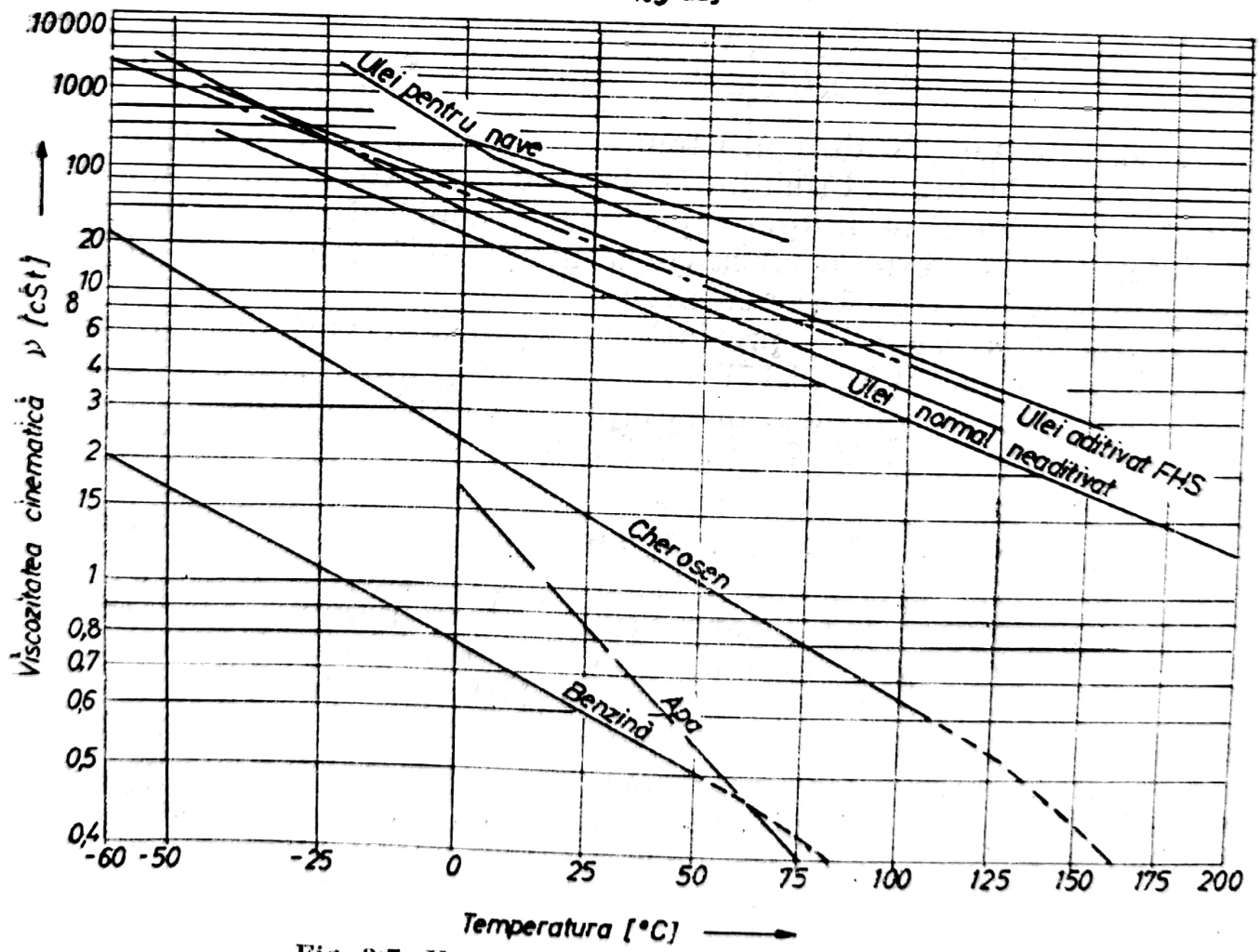


Fig. 3.7. Variația $\nu(T)$ pentru mai multe lichide.

Scanned with OKEN Scanner

pentru fluide pseudoplastice, cu plasticitate de tip Bingham reală.

Plasticitatea reprezintă proprietatea unui amestec fluid de a nu curge/se deforma decît după aplicarea unei forţe peste limită dată de τ_0:

$$dF_0 = \tau_0 dS. \tag{3.19}$$

Mişcarea încetează dacă $dF < dF_0$. Fluidele nenewtoniene viscoplastice sînt fluide bifazice, iar viscozitatea este influenţată de contactul fazelor diferite între ele:

— *fluide nenewtoniene pseudoplastice* sau *pseudoviscoase*, care se caracterizează prin τ dat de expresia:

$$\tau = K(dv/dn)^{\alpha}, \qquad \text{cu } \alpha < 1. \tag{3.20}$$

Pseudoviscozitatea este proprietatea unui fluid de a curge lent sub acţiunea unei forţe şi cu o viscozitate care scade pe măsura creşterii vitezei, din planul tangenţial de forfecare. La aceste fluide, lanţurile de molecule suferă alungiri pe direcţia de forfecare faţă de conformaţia lor de echilibru. Ca lichide din IAH, ce au proprietăţi pseudoviscoase, notăm: metalele topite şi soluţiile de polimeri;

— *fluide nenewtoniene dilatabile*. care sînt caracterizate prin expresia lui τ dat de:

$$\tau = K(dv/dn)^{\alpha}, \qquad \text{cu } \alpha > 1, \tag{3.21}$$

unde K este indicele de consistenţă al fluidului bifazic. Explicaţia caracterului dilatabil al fluidului constă în aceea că, la viteze mici de curgere, fluidul care îmbracă particulele contaminante acţionează ca lubrifiant al acestora, iar la viteze mari, lichidul se elimină dintre particule care se freacă şi mai intens.

În fig. 3.8, *a*, *b*, *c* şi *d*, se prezintă, corespunzător, variaţiile $\tau(dv/dn)$ date de expresiile (3.9), (3.17), (3.18), (3.20) şi (3.21) (und $n=z$).

Se mai cuvine a fi menţionat faptul că, după [35, 36], poate fi găsită o expresie generalizată a efortului tangenţial, sub forma:

$$\tau = \tau_0 + \sum_{i=1}^{n} [K_i(dv/dn)^i], \tag{3.22}$$

unde coeficienţii K_i sînt dependenţi de natura fluidului şi a particulelor contaminante, de concentraţia C a particulelor în fluid. Acest mod de a privi fluidele din IAH/IAP/IRU corespunde, limitat pe porţiuni, situaţiei reale din instalaţii.

În completarea celor arătate mai sus, nu trebuie omis faptul că au apărut noi lichide care tind să înlocuiască, treptat, lichidele clasice în diferite domenii, mai ales nuclear şi aerospaţial. Aceste fluide au

Scanned with OKEN Scanner

și alte proprietăți de viscozitate față de cele arătate. Astfel, există lichide a căror viscozitate dinamică depinde, în plus, de momentul de aplicare a unui efort și de durata de staționare; deosebim, după [30, 35]:

— *lichide thixotropice*, a căror viscozitate descrește cu timpul de aplicare a forței, în mod reversibil sau ireversibil în funcție de materialul respectiv și

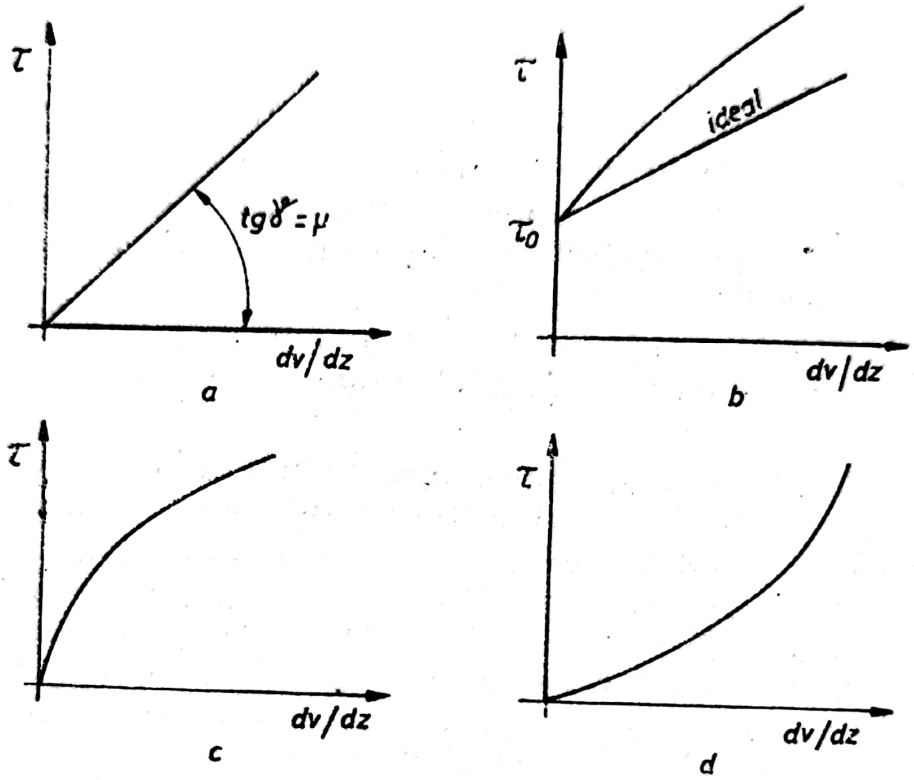


Fig. 3.8. $\tau = f(d_v/d_z)$.

— *lichide rheopectice*, a căror viscozitate crește cu timpul de aplicare al forței.

3.1.7. Proprietăți fizico-specifice ale fluidelor bifazice

Fluidele bifazice au, pe lîngă viscozitatea nenewtoniană, și alte proprietăți fizice specifice cum sînt: concentrația, viscozitatea aparentă etc.

a) Concentrația particulelor contaminante în fluidul purtător este o mărime scalară și reprezintă raportul dintre cantitatea totală de contaminant prezentă într-un fluid și cantitatea respectivă de

fluid. Se folosesc două modalităţi de a exprima concentraţia, masică şi volumică, ale căror expresii medii se definesc astfel :

$$C = \lim_{\Delta m \to 0} \frac{\Delta m_c}{\Delta m} = \frac{\mathrm{d}m_c}{\mathrm{d}m} \tag{3.23}$$

$$S = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta V_c}{\Delta V} = \frac{\mathrm{d}V_c}{\mathrm{d}V} \tag{3.24}$$

unde indicele c se referă la contaminant.

În cazul IAP poluate cu aer dizolvat, concentraţia se notează cu Φ (coeficientul de solubilitate definit anterior) definit de (3.7).

Totodată, avînd în vedere faptul că într-o IAH/IRU concentraţia de particule contaminante nu este constantă pe tot traseul între intrare şi ieşirea fluidului din instalaţie, se mai definesc următoarele tipuri de concentraţii :

— *concentraţia instantanee*, C_i, într-un punct : aceasta are valorile primare 1 sau 0, după cum în acel punct se află o particulă solidă sau una fluidă ;

— *concentraţia instantanee*, C_{is}, într-un volum limitat, de exemplu rezervorul unei IAH/IRU sau camera unui motor hidraulic liniar etc., definită sub formele :

$$C = \Delta m_c / \Delta m \,|_{t_i = t} \tag{3.25}$$

$$S = \Delta V_c / \Delta V \,|_{t_i = t} \tag{3.26}$$

$$\Phi = \Delta V_a \,/ \Delta V \,|_{t_i = t} \tag{3.27}$$

care asociază concentraţiei variabila independentă timpul. C_{is} serveşte la calculul nivelului şi eficienţei filtrării în IAH/IAP/IRU, precum şi la precizarea corelaţiei între impurificarea cu contaminanţi şi filtrare pe traseul fluidului din instalaţii, în vederea menţinerii unui regim staţionar şi încadrarea fluidului într-un standard de contaminare ;

— *concentraţia medie* într-un volum limitat reprezintă media aritmetică a concentraţiilor instantanee din volumul respectiv într-un interval dat.

b) Viscozitatea dinamică aparentă, μ_{ap}. Viscozitatea fluidului bifazic este mai mare decît a fluidului purtător, lichid sau gaz folosit în IAH/IAP/IRU, datorită prezenţei particulelor contaminante ; prezenţa acestora determină creşterea frecării din fluid şi, prin urmare, o mărire aparentă a viscozităţii [30]. Dependenţa viscozităţii

Scanned with OKEN Scanner

aparente de viscozitatea fluidului purtător este exprimată, prin analogie cu relaţia lui H. Einstein valabilă pentru granule sferice aflate în suspensie în apă în concentraţie S, cu ajutorul relaţiei :

$$\mu_{ap} = \mu(1 + \varphi_0 S), \tag{3.28}$$

în care : μ_{ap} şi μ sînt viscozitatea dinamică a fluidului bifazic şi respectiv, a fluidului purtător ; φ_0 este un coeficient numeric supraunitar, determinabil experimental.

Relaţia este valabilă atît pentru fluidul bifazic lichid-solid, cît şi pentru cel gaz-solid (pentru particule solide în apă, $\varphi_0 = 2{,}5$ [30].

3.2. Elemente sistemice şi de mecanica fluidelor mono- şi bifazice pentru filtrare şi filtre. Fluidele bi — şi monofazice în IAH/IAP/IRU

3.2.1. Introducere

După cum s-a arătat, amestecul poluant/contaminant-fluid prezent în IAH/IAP/IRU este, în anumite situaţii şi pe anumite porţiuni ale instalaţiei, un fluid bifazic. Caracterul de fluid bifazic este mai accentuat la IRU pe porţiunea ungere-rezervor-filtrul de pe aspiraţia pompei şi la IAH în interiorul rezervorului şi pe porţiunea aspiraţie pompă filtru de presiune. La IAH se mai poate vorbi şi de prezenţa unei a treia faze, cea gazoasă, datorată spumării şi absorbţiei de gaz în faza lichidă, iar la IAP — de prezenţa fazei lichide, apa, prezentă uneori în instalaţii. La IAP, fluidul bifazic conţine fazele aer-solid pînă la grupul de preparare al aerului unde faza solidă scade ca pondere prin filtrare, dar apare o nouă fază, cea lichidă, datorată uleiului de ungere.

În restul instalaţiei fluidul/agentul de lucru este poluat/contaminat cu concentraţie relativ redusă de poluanţi/contaminanţi, încît el este tratat, din punct de vedere hidraulic, ca un fluid real monofazic, omogen, aflat în mişcare laminară/turbulentă, de la caz la caz ; singura excepţie, mai relevantă, este datorată absorbţiei de aer din lichidul folosit la IAH, aer care nu poate fi reţinut de mediul filtrant al filtrelor folosite în instalaţie.

Rezultă, în concluzie, că IAH/IAP/IRU utilizează, în scopul realizării funcţiei lor de bază (şi anume : prestarea unui lucru mecanic, după traiectorii primare de rotaţie sau de translaţie, cu realizarea anumitor parametri cinematici şi de efort, după un anumit program

Scanned with OKEN Scanner

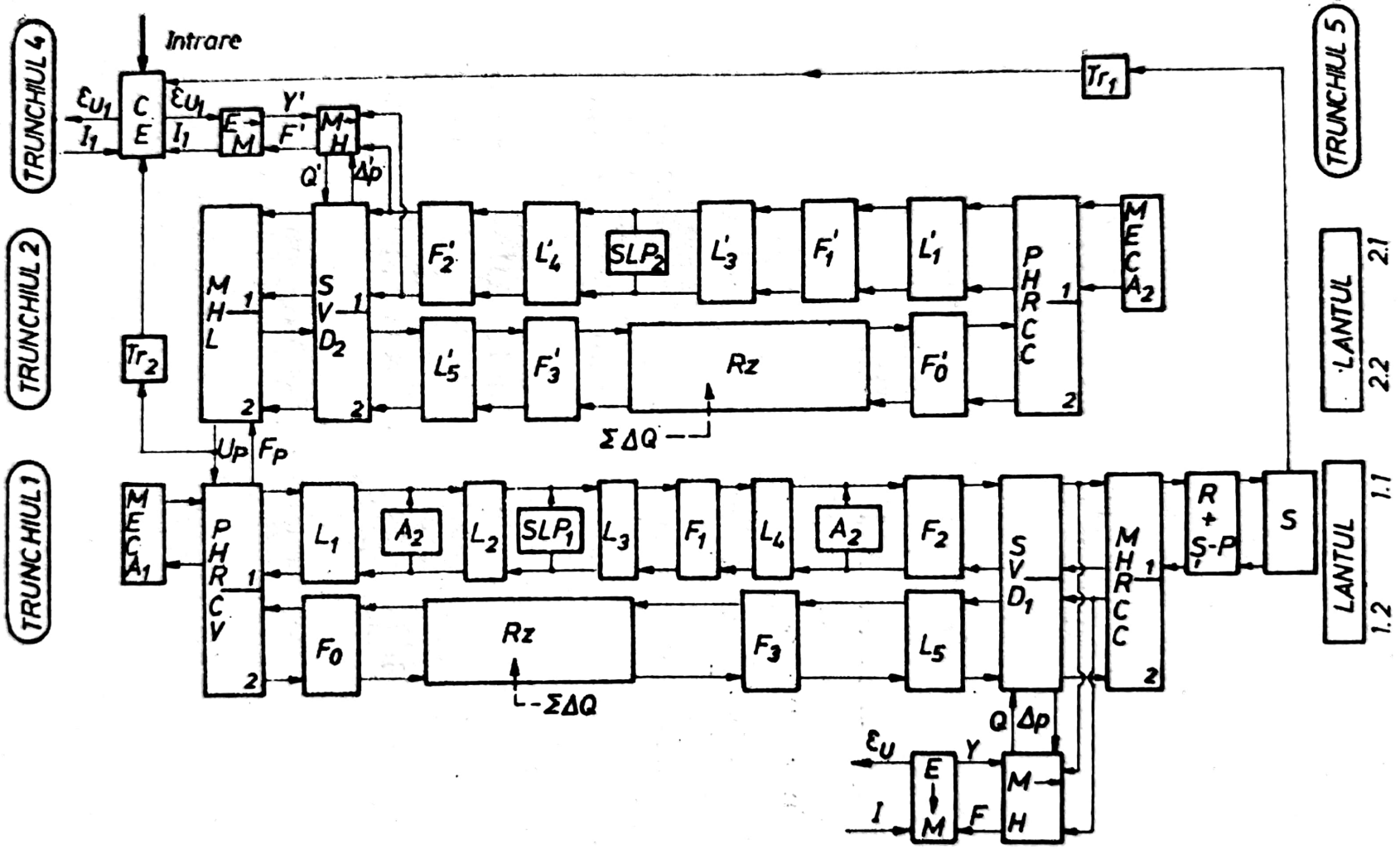


Fig. 3.9. Schema bloc a instalației din fig. 1.1.

și cu un anumit vector de performanțe staționare, dinamice, economice și de fiabilitate), fluid monofazic sub presiune pe care îl supune unui număr de conversii energetice succesive. Din acest motiv, sub raport teoretic, rămîn valabile toate legile fundamentale ale hidrostaticii, hidrocineticii și hidrodinamicii fluidelor reale, cu corecțiile aduse și cu particularitățile impuse de funcționarea elementelor și ansamblul acestor instalații.

În acest sens interesează acele considerații teoretice care sînt specifice funcționării filtrelor într-o instalație și permit teoretizarea studiului. Astfel, sînt proprietățile de *rezistență*, *inductanță* și *capacitatea* (precum și asociațiile lor) specifice și atașate filtrelor privite drept cvadripoli și implementate în IAH.

Așa cum rezultă din fig. 3.9, unde se prezintă schema bloc a instalației din fig. 1.1, filtrelor F_0, F_1, F_2, F_3 etc. li se asociază cîte un model matematic care să facă posibilă trecerea la Cercetarea și Proiectarea Asistată de Calculator (CPAC sau CAD în l. engleză) [40, 41]. Complexe baze de date grafo-analitice se află create și implementate, în acet sens, la Institutul Politehnic București, catedra MUS.

Pe de altă parte, sînt necesare cunoștințe de mecanică a fluidelor bifazice pentru a putea constitui o bază teoretică necesară în următoarele direcții :

— abordarea problemelor de mișcare a particulelor în fluid din diferite puncte de vedere (traiectorii, energetic, abraziv) sau necesare în calculul sedimentării, al difuziei particulelor, al echilibrului contaminării etc. ;

— abordarea problemelor de mecanică a filtrării în mediile filtrante cu dispunere ordonată sau aleatoare a spațiilor traversate de fluid ;

— studiul interacțiunii dintre particule și cîmpurile electrostatic și magnetic specifice filtrărilor și filtrelor construite pe baza utilizării proprietăților celor două tipuri de cîmpuri.

3.2.2. Elemente de mecanica lichidelor monofazice

3.2.2.1. Proprietăți elementare

a) Tipuri de curgere în IAH. Exceptînd curgerea moleculară guvernată de legi complicate [16, 30 etc.], în IAH se deosebesc două tipuri de curgeri, *curgerea laminară* și *curgerea turbulentă* ;

Scanned with OKEN Scanner

între cele două tipuri de curgeri, există *curgerea de frontieră* (stratul limită).

Lucrarea, adresată specialiștilor în acționări hidropneumatice, va folosi, pentru clarificare, cel mai tipic exemplu de rezistență hidraulică folosită în aceste instalații, rezistența de tip muchie, pe care se vor prezenta diferențele între curgerea laminară și cea turbulentă. Ulterior vor fi prezentate viteza și debitul prin rezistența liniară sau locală specifică filtrelor.

b) Curgerea turbulentă este caracterizată prin aceea că particulele vecine nu au traiectorii paralele. Vectorii viteză ai acestora au tendința de a se îndepărta de la viteza medie a curgerii. De aici, ar rezulta o micșorare a mediei componentei lor axiale dacă micșorarea n-ar fi compensată de o creștere egală, în compensație, a presiunii fluidului. Componentele radiale ale vitezei se convertesc, în final, în creșterea temperaturii fluidului. Astfel, energia de presiune este transformată, în ansamblul ei, în energie cinetică, transformată, la rîndul ei, în energie calorică. Pe plan analitic, curgerea turbulentă se traduce prin faptul că Δp, căderea de presiune într-o rezistență, este proporțională cu ρv^2, conform relației (3.29) :

$$v_t = c_D \sqrt{2\Delta p/\rho} \text{ sau } \Delta p = \rho v^2/2c_D^2. \tag{3.29}$$

Curgerea turbulentă are loc la valori ale numărului adimensional (Reynolds) superioare valorii critice ($\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{critic} = 20$) și este dat de relația cunoscută $\mathrm{Re} = vd_H/\nu$, unde d_H este diametrul hidraulic (v și ν au semnificațiile cunoscute și se exprimă în unități SI), iar $c_D[-]$ este coeficientul de descărcare/corectare al relației lui Bernoulli.

În unele lucrări, valoarea lui Re_{critic} este circa 2 500 [30, 39, 42], etc.], datorită unităților de măsură utilizate.

Pentru un orificiu cilindric de distribuitor (fig. 3.10, a), diametrul hidraulic este $d_H = 2x$, iar Re devine :

$$\mathrm{Re} = 2vx/\nu = 2vx\rho/\mu. \tag{3.30}$$

Drept urmare, debitul turbulent Q_t care traversează rezistența, dat de relația continuității $Q = va$, unde a este secțiunea deschiderii, cilindrice, devine :

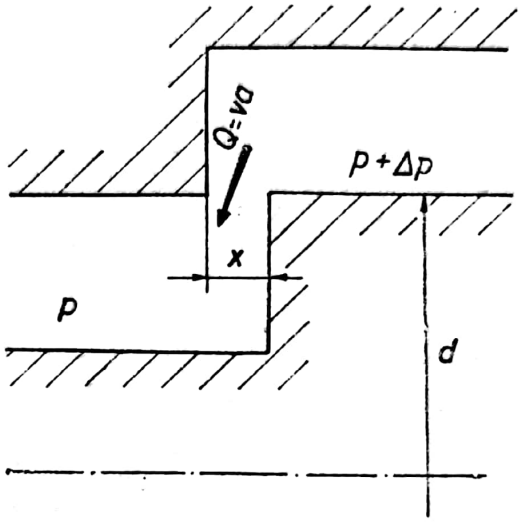
$$Q_t = va = c_D x\pi d \sqrt{2\Delta p/\rho} \tag{3.31}$$

Coeficientul de descărcare, c_D, depinde, pentru $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{cr}$, atît, de Re, cît și de Δp și este determinat de tipul muchiei, pentru ca.

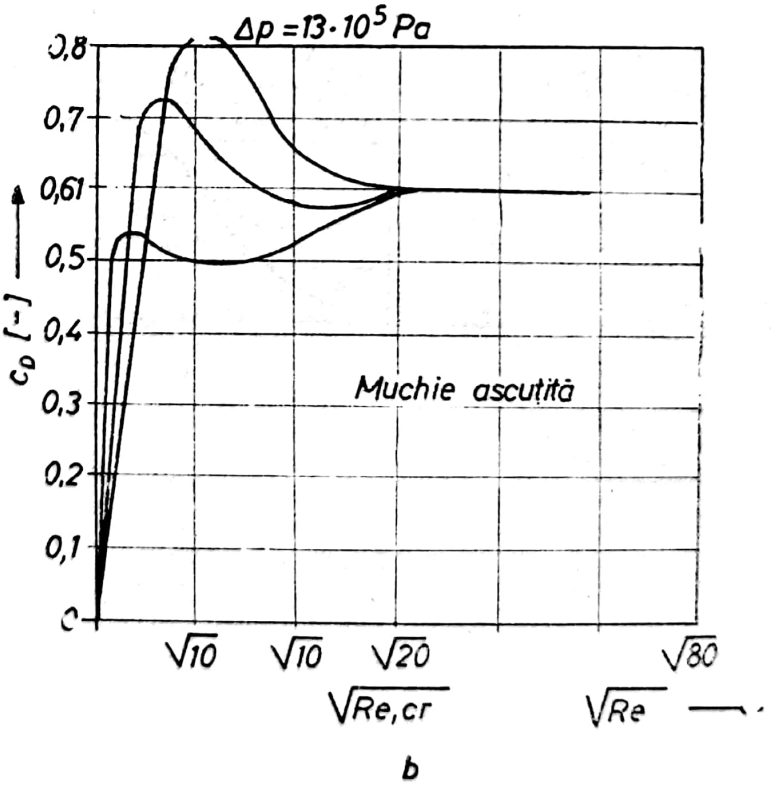
Scanned with OKEN Scanner

pentru $Re > Re_{critic}$ să aibă valoarea $c_{D_{critic}} = \pi/\pi + 2$ [74, 77]. În fig. 3.10, *b* şi *c*, se prezintă dependenţele arătate mai sus după Sokholov citat de Ionescu, Fl. [39, 59] şi, respectiv, Viersma, T. [74].

c) **Curgerea laminară** (de la latinescul „lamina" = lamă). În acest caz particulele se mişcă după linii paralele şi cu vectori viteză



a



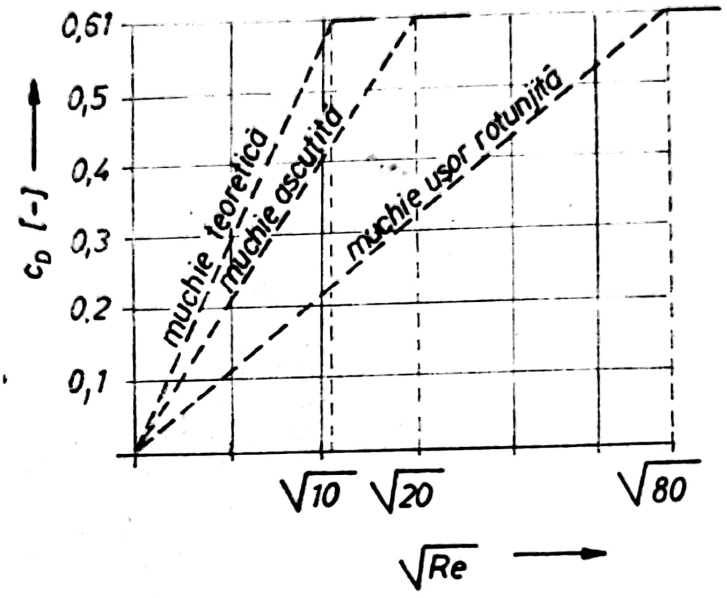
b

Fig. 3.10,*a*,*b*. Rezistenţa hidraulică şi valorile c_D şi Q_t.

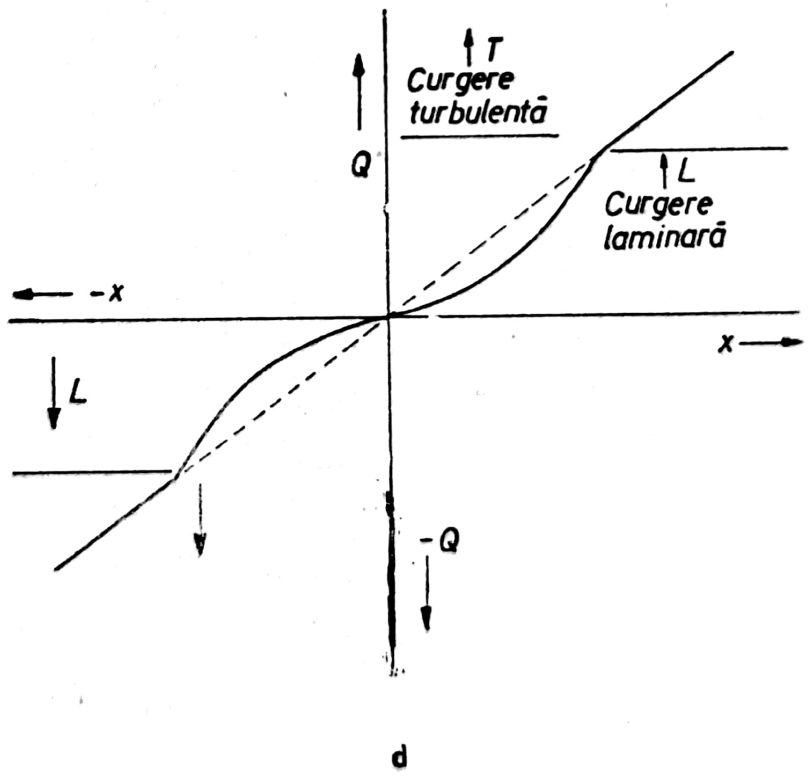
Scanned with OKEN Scanner

paraleli. Datorită viscozității, fiecare strat tinde să-l frîneze pe celălalt şi stratul de contact, de către pereţii incintelor. Sub raport analitic, s-a demonstrat de către Wuest [77] că :

$$c_D = \delta \sqrt{\mathrm{Re}}, \tag{3.32}$$



c



d

Fig. 3.10,*c*, *d*. Rezistenţa hidraulică şi valorile c_D şi Q_t.

Scanned with OKEN Scanner

ceea ce permite a se scrie, succesiv, pentru aceeaşi rezistenţă de tip muchie (fig. 3.10, *a*) :

$$v_l = c_D \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \delta \sqrt{\mathrm{Re}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = \delta \sqrt{\frac{2vx}{\mu} \frac{2\Delta p}{\rho}}, \quad (3.33)$$

care conduce la : $$v_l = \frac{4\delta^2}{\mu} x \Delta p. \quad (3.34)$$

Debitul laminar care traversează secţiunea a, are, aşadar, expresia :

$$Q_l = v_l a = \frac{4\delta^2}{\mu} \pi d x^2 \Delta p. \quad (3.35)$$

În relaţiile (3.32) ... (3,35), s-au notat cu : $\delta = c_D/\sqrt{\mathrm{Re}}$ ($c_{Dcr}/\sqrt{\mathrm{Re}_{cr}} = 0{,}61/\sqrt{20} \simeq 0{,}136$) ; μ [kgm^{-1} s^{-1}], viscozitatea dinamică a fluidului ; ρ [kg/m^3], densitatea fluidului ; Δp [N/m^2)], căderea de presiune în rezistenţa hidraulică.

Relaţia debitului, caracteristică curgerii laminare, arată o dependenţă cu puterea a doua a lui x, în timp ce debitul turbulent depinde de x cu puterea întîia. Cele două relaţii sînt reprezentate grafic în fig. 3.10, *d*.

Valoarea lui x de trecere, x_T, corespunzătoare stratului limită, se obţine din relaţia (3.31) :

$$x = \frac{Q}{\pi d c_D \sqrt{2\Delta p/\rho}} = \frac{av}{\pi d\, c_D \sqrt{2\Delta p/\rho}}, \quad (3.31')$$

în care înlocuim expresia vitezei din relaţia (3.30) :

$$v = \mathrm{Re}\ \nu/2x. \quad (3.30')$$

Se obţine, ţinînd seama şi de expresia ariei, $a = \pi d x$:

$$x = \frac{\pi d x \frac{\mathrm{Re}\ \nu}{2x}}{\pi d c_D 2\sqrt{\Delta p/\rho}} = \frac{\nu \mathrm{Re}}{2 c_D \sqrt{2\Delta p/\rho}}. \quad (3.36)$$

Trecînd la condiţiile stratului limită, se obţine :

$$x_T = \frac{\nu \mathrm{Re}_{cr}}{2 c_{Dcr} \sqrt{2\Delta p/\rho}}. \quad (3.37)$$

Pentru datele numerice uzuale: $\nu = 30 \cdot 10^{-6}$ [m^2s^{-1}]; $Re_{cr} = 20$; $c_{Dcr} = 0{,}611$; $\Delta p = 50 \cdot 10^5$ [N/m^2] și $\rho = 820$ [kg/m^3]. Valoarea lui $x_T = 4{,}446 \cdot 10^{-6}$ [m] = 4,446 [μm], care, deși mică, are un ordin de mărime compatibil cu deschiderea servodistribuitoarelor. Din motivele arătate și altele, în IAH este preferată curgerea turbulentă.

Trecerea unei curgeri din domeniul laminar în turbulent se poate face, din punct de vedere practic, prin: creșterea vitezei (debitului de curgere); diminuarea viscozității lichidului; mărirea secțiunii de trecere oferită lichidului, debitul crescînd cu pătratul deplasării x.

d) **Semnificația fizică a numărului lui Reynolds.** Fie L mărimea de referință a unui element de fluid și v viteza sa; atunci, se pot defini: volumul elementului $V = L^3$; masa elementului $m = \rho V = \rho L^3$; energia cinetică a elementului $E_0 \sim mv^2 \sim \rho L^3 v^2$; forțele de viscozitate $F_v = \mu L v$; lucru mecanic al forțelor de viscozitate $L_v = F_v L = \mu L^2 v$.

Numărul lui Reynolds reprezintă raportul dintre energia cinetică și lucrul mecanic absorbit de forțele de viscozitate. Se scrie, astfel, succesiv:

$$\mathrm{Re} = E_c/L_v = \rho L^3 v^2/\mu L^2 v = \rho L v/\mu = vL/\nu. \tag{3.38}$$

e) **Rezistențele hidraulice locale sînt mărimi hidraulice** de natură hidraulică și constructivă și apar în caracterizarea funcțional analitică a filtrelor. Se definește ca rezistență hidraulică limita raportului dintre variația căderii de presiune și variația debitului, cînd acesta din urmă tinde către zero.

Se scrie succesiv:

$$R_l = \lim_{\Delta Q \to 0} \frac{\Delta(\Delta p)}{\Delta Q} = \frac{d(\Delta p)}{dQ} \ [\mathrm{Nsm^{-5}}]. \tag{3.39}$$

Este relativ cunoscut faptul că accelerarea curgerii la micșorarea conductei reprezintă o transformare a energiei de presiune în energie de mișcare (viteza se face cu un randament η_{pv} bun. În același timp, transformarea inversă, numită și recomprimare, se face cu un randament inferior ($\eta_{vp} < \eta_{pv}$) și necesită forme de traseu studiate pentru îmbunătățirea lui. Măsura pierderii de energie se face în unități de presiune, exprimate, la rîndul lor, în funcție de densitatea fluidului, de debitul său și de un coeficient numeric adimensional ζ.

Scanned with OKEN Scanner

— *Curgerea în regim turbulent* este descrisă de o relație, care este o formă corectată a relației lui Bernoulli, între debit și cele două presiuni. Se obține succesiv :

$$p_a - p_b = \Delta p = \zeta \frac{1}{2} \rho v^2 = \zeta \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q}{S} \right)^2 \equiv R_T Q^2. \qquad (3.40)$$

Relația (3.40) reprezintă o altă modalitate de exprimare a relației (3.31), specifică rezistențelor hidraulice nefuncționale, cum sînt : cot ($\zeta = 1$) ; racord drept (0,5) ; racord orientabil ($2 \div 3$) ; supape ($3 \div 5$) ; distribuitoare ($3 \div 6$) etc. Rezistența hidraulică pentru regimul turbulent are expresia

$$R_T = \zeta \rho / (2S^2) \qquad (3.41)$$

și se obține din relația, (3.40) prin identificare. Dacă se echivalează rezistența cu o strangulare de lungime l și diametrul nominal ca în figura 3.11, se poate scrie coeficientul sub forma $\zeta = \lambda(l/D)$; rezistența devine astfel :

$$R_T = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho}{2} \frac{1}{S^2}, \qquad (3.42)$$

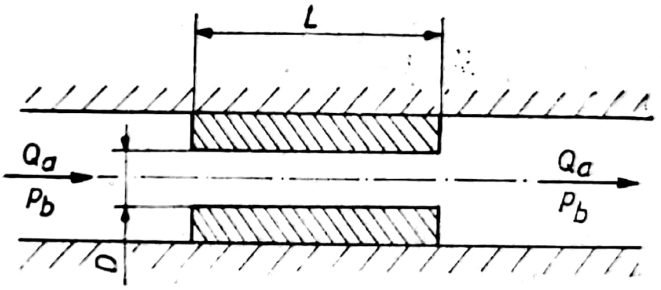


Fig. 3.11. Rezistența hidraulică aproximată cu o conductă.

din care se obține succesiv :

$$R_T = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho}{2} \frac{16}{\pi^2 D^4} = \frac{8 \lambda \rho l}{\pi^2 D^5}. \qquad (3.43)$$

În aceste relații $\lambda[-]$ are valorile indicate în literatura de specialitate [39, 42] în funcție de Re și de rugozitatea relativă. Adăugînd la ecuațiile (3.40) și (3.41) faptul că debitul este conservativ, adică debitul care iese dintr-o secțiune este egal cu cel care intră ;

$$Q_e = Q_i, \qquad (3.44)$$

obținem cele două ecuații care definesc proprietatea de rezistență în regim turbulent. În fig. 3.12, sînt prezentate schemele bloc și bloc analogice ale proprietății de rezistență locală a filtrelor folosite în IAH/IRU.

Scanned with OKEN Scanner

— *Curgerea în regim laminar prin rezistență* prezentată mai sus este descrisă de o ecuație de tipul (3.34) sub forma :

$$p_a - p_b = \Delta p = R_L Q, \tag{3.45}$$

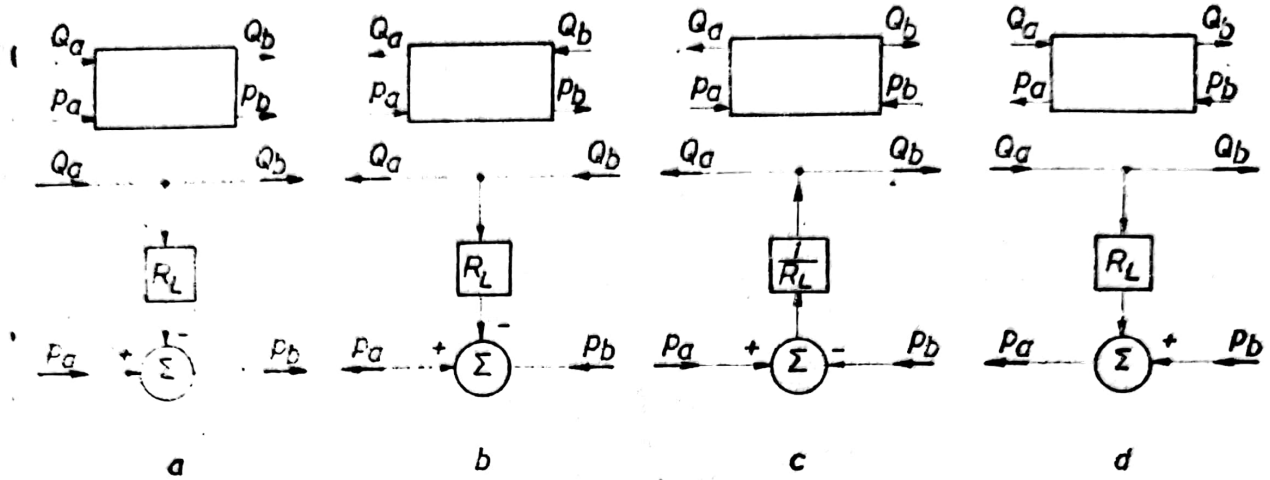


Fig. 3.12. Scheme bloc ale rezistenței hidraulice și scheme bloc analogice în regim turbulent.

unde rezistența de curgere în regim laminar, R_L, are expresia, după Reid [67] și Ionescu [39] :

$$R_L = \frac{128\,\mu L}{\pi D^4}. \tag{3.46}$$

Și aici, relația (3.42), împreună cu relația de continuitate (3.44), constituie modelul matematic al rezistenței în regim laminar. În fig. 3.13, se prezintă schemele bloc și bloc analogice ale proprietății de rezistență locală în curgerea laminară a filtrelor folosite în IAH/IRU.

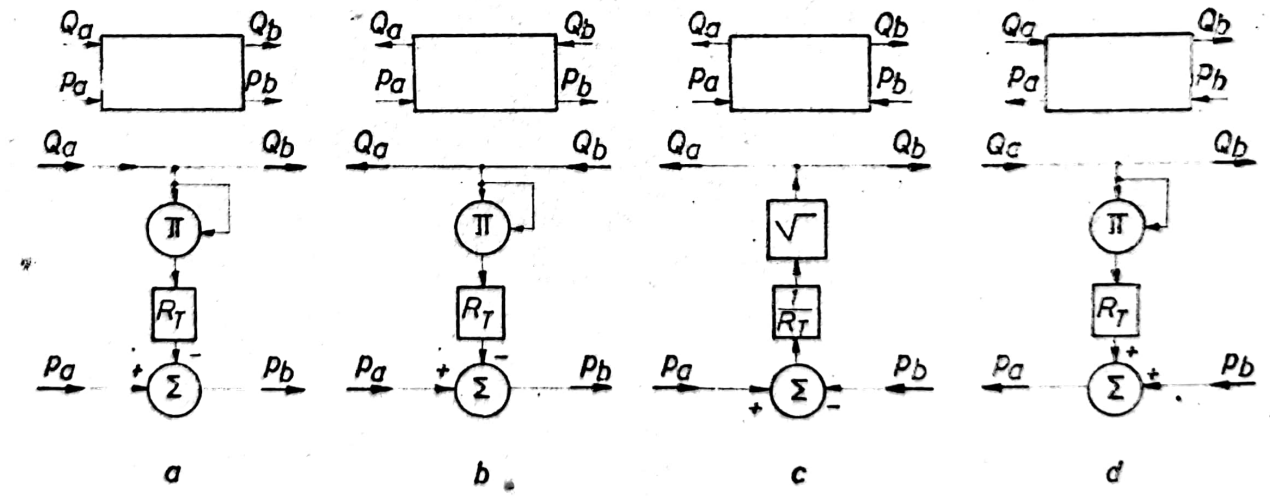


Fig. 3.13. Scheme bloc ale rezistenței hidraulice și scheme bloc analogice în regim laminar.

f) **Ineconvenientele curgerii în regim laminar.** Deşi la prima vedere în regim laminar în IAH/IRU este „agreabilă", întrucît $\Delta p \sim Q$, totuşi curgerea în regim laminar în instalaţie este însoţită de numeroase consecinţe negative cum sînt:

1°) pe plan constructiv înseamnă o supradimensionare efectivă importantă a elementelor, întrucît $v \sim l/D^2$, iar $\mathrm{Re} \sim l/D$, situaţie care este, evident şi nu arareori, prohibitivă, cum este cazul echipamentelor autopurtate şi aerospaţiale;

2°) pe plan hidraulic, coeficientul de pierderi/descărcare c_D depinde, atît de valoarea lui Δp cît şi de Re, care, de fapt, implică dependenţa, prin viscozitatea cinematică ν, de temperatură şi de natura fluidului. Pentru a se înţelege acest ultim aspect vom apela la un exemplu numeric.

Fie o instalaţie IAH, la un avion avînd un lichid standard ($\rho = 850$ [kg/m^2] şi $\nu = 20$ [cSt] la 30[°C]), care alimentează un motor liniar amplasat la un metru de pompă printr-o conductă cu $L = 1$ [m] şi $D = 6$ [mm]. Pompa are un debit de 40 [l/min]. Se calculează succesiv:

$$S = \pi D^2/4 = 2{,}83 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{m}^2$$

$$v = Q/S = (40 \cdot 10^{-3}/60)/2{,}85 \cdot 10^{-5} = 23{,}429\ \mathrm{m/s}$$

$$\mathrm{Re} = vD/\nu = 23{,}5 \cdot 10^3 \cdot 6/20 = 7017 \text{ (curgere turbulentă)} =$$

$$= 61{,}40 \text{ în SI}$$

$$\Delta p = \lambda (l/D) \frac{1}{2} \rho v^2 = 0{,}03 \frac{1}{0{,}006} \cdot \frac{1}{2} 850 \cdot 23{,}43^2 =$$

$$= 11{,}66 \cdot 10^5\ \mathrm{N/m}^2,$$

unde $\lambda \simeq 0{,}030$ pentru $\mathrm{Re} = 7017$ şi rugozitatea relativă $R_u = k/D = 0{,}005$ (k — înălţimea medie a asperităţilor conductei, D — diametrul interior al acesteia).

Să presupunem că motorul se plasează la $L' = 47$ m de pompă. Se caută noua valoare D' a diametrului conductei, care să conducă la conservarea pierderii de presiune Δp şi a caracterului curgerii turbulente. Se obţin, succesiv, pe baza relaţiei (3.45):

$$\Delta p = \Delta p';\quad \frac{8\lambda\rho L'}{\pi^2 (D')^5} = \frac{8\lambda\rho L}{\pi^2 D^5},$$

Scanned with OKEN Scanner

care conduce la diametrul: $D' = \sqrt[5]{L'/LD} = \sqrt[5]{47}\ D = 2{,}167\ D =$ $= 2{,}167 \cdot 6 = 13$ mm.

Se reiau calculele pentru S', v' și Re' și se obține:

$$S' = \pi D'^2/4 = \pi(13 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 1{,}327 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2;$$

$$v' = Q/S' = 40 \cdot 10^{-3}/1{,}327 \cdot 10^{-4} = 60 = 5{,}02\ \text{m/s};$$

$\text{Re}' = \text{v}'\text{D}'/\nu = 5{,}02 \cdot 10^3 \cdot 13/20 = 3266$ (curgere turbulentă). Se vor analiza cele două situații (D, L și D', L') atunci cînd instalația lucrează la două temperaturi diferite, respectiv $+10$ și -10°C. Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.2. Rezultatele arată că temperatura influențează, prin Re, foarte mult curgerea și pierderile de presiune și că, deși diametrul este crescut, la -10°C, Δp este de $\sim 2{,}2$ ori mai mare.

Tabelul 3.2

Rezultate Δp (t, Re)

	Cazul 1			Cazul 2		
	$L = 1$ m; $D = 6$ mm			$L' = 47$ m; $D' = 13$ mm		
Temperatura [°C]	30	10	−10	30	10	−10
Viscozitate [cSt]	20	40	100	20	40	100
Viteza [m/s]	23,4	23,4	23,4	5	5	5
Re	7017	3508	1403	3266	1633	653
λ	1/33	1/29	1/22	1/33	1/25,5	1/10
Δp [bar]	11,66	13,4	17,67	11,66	15,01	38,5

g) Efectul capacitiv al lichidului sub presiune din filtre. Proprietatea de capacitate a unei incinte V cu fluid sub presiune (fig. 3.14) constă în aceea că presiunile p_a de intrare și p_b de ieșire sînt egale:

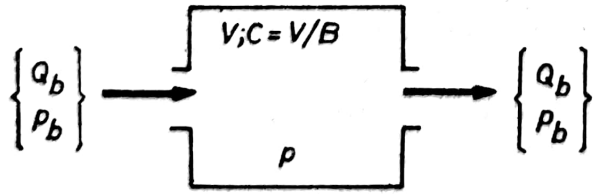


Fig. 3.14. Modelul capacității hidraulice.

$$p_a = p_b = p\ , \tag{3.47}$$

Scanned with OKEN Scanner

în timp ce debitele sînt diferite, debitul de ieşire Q_b fiind mai mic decît cel de intrare Q_a cu debitul de compresibilitate $Q_c = (V/B)\,dp/dt$. Se obţine astfel:

$$Q_b' = [Q_a - \frac{V}{B}\frac{dp}{dt}. \tag{3.48}$$

Un element capacitiv astfel descris este un cvadripol; între mărimile de intrare şi ieşire se stabilesc patru tipuri de conexiuni. În fig.3.15 se prezintă cele cinci interdependenţe şi schemele bloc analogice corespunzătoare care au fost scrise pe baza relaţiilor (3.47) şi (3.48) cu aplicarea transformării Laplace. S-a notat cu $C = V/B$ [m^3N^{-1}], capacitate hidraulică şi cu $s = d/dt$ operatorul Laplace.

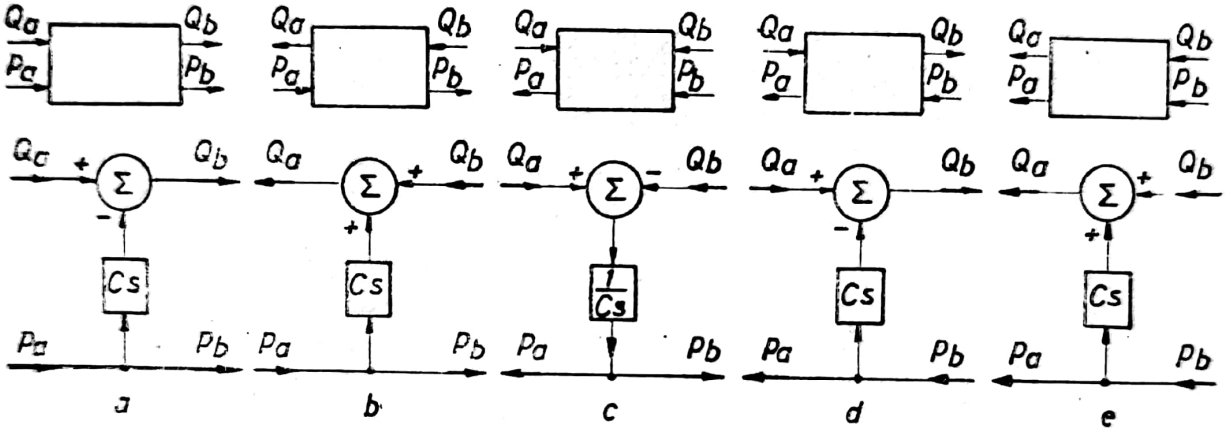


Fig. 3.15. Scheme bloc şi bloc analogice ale proprietăţii de capacitate.

3.2.2.2. **Proprietăţi sistemice cumulative ale filtrelor.** Din construcţia filtrelor privite prin prisma proprietăţilor elementare de tip rezistenţă şi capacitate (fig. 3.16, *a*), rezultă că acestea sînt construite, în principiu, din următoarea succesiune de elemente cu proprietăţi distincte (fig. 3.16, *b*):

— rezistenţă hidraulică de tip laminar/turbulent la intrarea în filtru, R_1, datorată organelor locale de prindere la conductă şi de dirijare a lichidului;
— volumul V_1 de lichid sub presiune cu efectul capacitiv C_1;
— rezistenţa hidraulică R_2 datorată mediului filtrant;
— volumul V_2 de lichid sub presiune cu efectul capacitiv C_2;
— rezistenţa hidraulică R_3 la ieşirea din filtru.

În fig. 3.16, *c* se prezintă schema bloc a modelului funcţional al filtrelor. Utilizînd modelele matematice ale elementelor componente de tip R şi C se obţine modelul matematic şi schema bloc analogică corespunzătoare, prezentată în fig. 3.17.

Scanned with OKEN Scanner

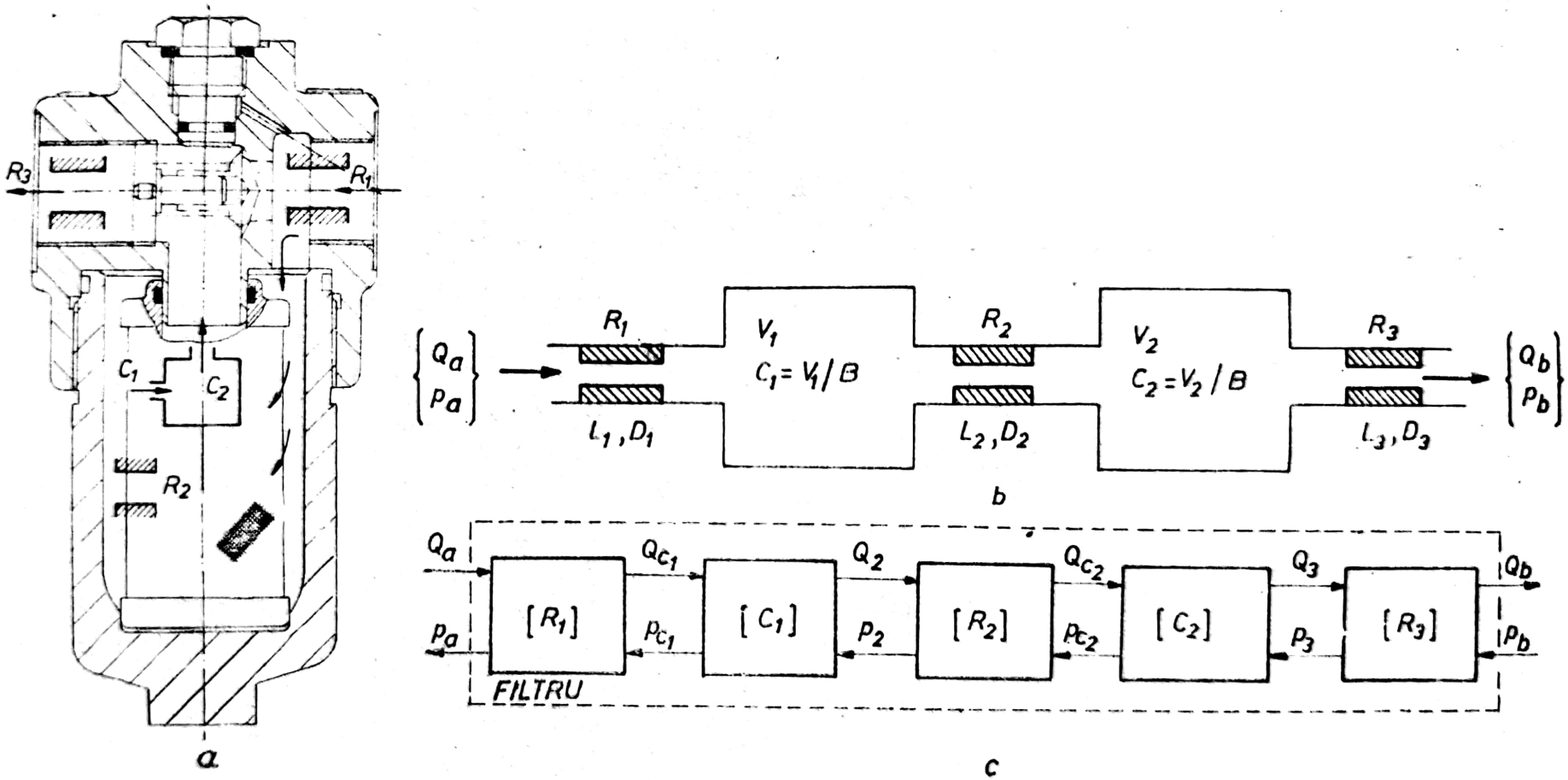


Fig. 3.16. Modelul funcțional analogic al filtrelor și schema bloc corespunzătoare.

Scanned with OKEN Scanner

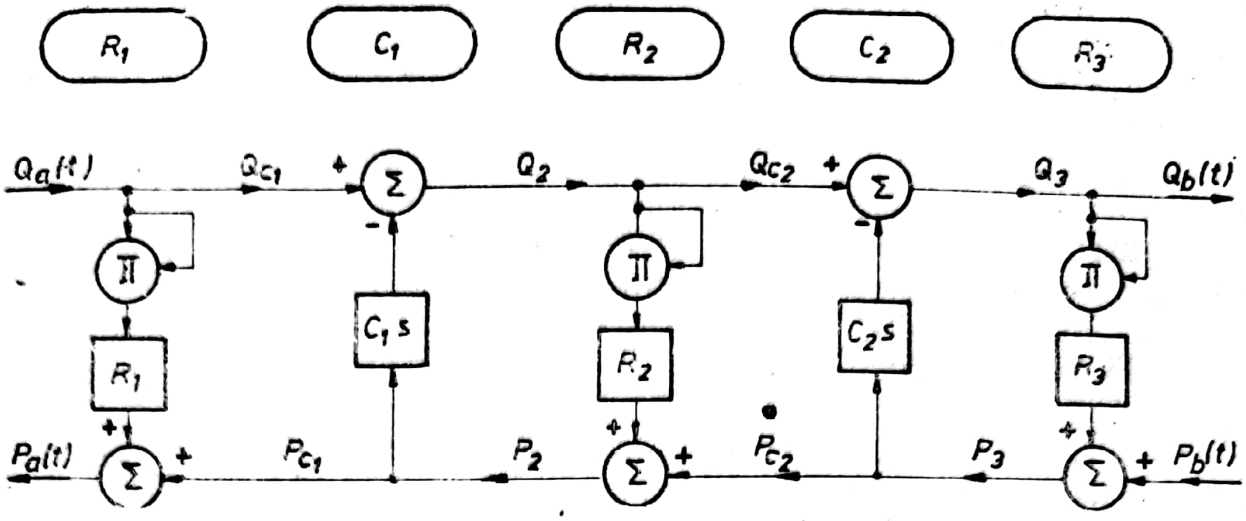


Fig. 3.17. Schema bloc analogică a filtrului.

3.2.3. Elemente de dinamica particulelor în mediul lichid

3.2.3.1. **Introducere.** Provenite din diferite surse ale instalației, rezervor, pompă, motor, lichid etc., dar și reținute sau depuse parțial în filtru, și, respectiv rezervor, particulele sînt vehiculate pe întreg traseul rezervor, pompă, distribuitor, motor și înapoi spre rezervor împreună cu mediul lichid al IAH/IRU. Vehicularea particulelor în instalație este deopotrivă dorită pentru a permite filtrarea în filtre și sedimentarea în rezervor, și nedorită, pentru a se evita efectele abrazive/nocive asupra elementelor, dar acest de al doilea deziderat nu se poate elimina. În consecință, rămîne ca utilizatorul să folosească în mod judicios faptul că particulele contaminate sînt vehiculate în întreaga instalație și să ridice cît mai mult posibil și necesar din punct de vedere tehnic și economic, calitatea filtrării și nivelul de puritate ale mediului hidraulic.

Totodată, utilizînd principalele proprietăți ale particulelor, pot fi găsite mijloace de eliminare/separare a lor de mediul lichid. Aceasta poate fi realizată prin sedimentare liberă, prin crearea unor traiectorii corespunzătoare și favorabile depunerii de particule în rezervor, prin crearea unor cîmpuri suplimentare, cum ar fi, de exemplu, centrifugarea, proces, de altfel, specific filtrelor cu același nume.

Cunoașterea proprietăților particulelor în lichid poate servi la calculul pierderilor energetice datorate transportului lor, precum

Scanned with OKEN Scanner

și la studiul echilibrului contaminării globale a mediului lichid ca un echilibru ingresie — reținere (depunere de particule).

Toate acestea contribuie la cunoașterea și stăpînirea cantitativă a fenomenelor de contaminare, la luarea unor măsuri științifice și economice de filtrare în instalații și, pe această cale, la creșterea duratei de funcționare a instalațiilor.

Pentru a crea o bază de înțelege și de calcul adecvată, în capitolul de față se prezintă mișcarea unidimensională și bidimensională a particulelor în fluid, precum și aplicații la mișcările orizontală, verticală și centrifugală, în cîmp gravitațional și în cîmp electric/electromagnetic.

Se cuvine a mai fi menționat faptul că mișcarea fluidelor, purtătoare de particule prin mediile poroase ale materialelor ce constituie elementul filtrant, este o altă direcție de interes și studiu în teoria filtrării. Aceasta va forma obiectul unui capitol separat, care va trata, deopotrivă, aglomerările de particule și fibre ce constituie elementul filtrant și curgerea prin acestea a mediilor bifazice.

3.2.3.2. **Problematică și direcții de studiu.** Separarea particulelor contaminante de mediul fluid folosit în IAH/IRU se face prin: *reținerea particulelor* pe suprafața sau în adîncimea mediului filtrant la nivelul filtrului; *depunere*, fie *liberă*, în rezervor (proces numit și sedimentare), fie *forțată prin centrifugare* în fitrele special construite; *depunere forțată prin atracție electrică* sau *electromagnetică*.

În primul caz, este vorba de o intercorelație probabilistică între particule de diferite dimensiuni și spațiile aleator constituite ale unor filtre formate din aglomerații de fibre sau particule și va face obiectul unui capitol ulterior (cap. 7).

În cel de-al doilea caz, procesul de depunere este asigurat de transportul de către fluid al particulelor și de crearea condițiilor funcțional-dimensionale care să facă posibilă depunerea. Aici, un rol important de cunoaștere și apropiere a fenomenelor îl au aspectele de mișcare a particulelor în fluid.

În cel de-al treilea caz, peste cîmpul gravitațional și forțele obișnuite (greutate, forță arhimedică, de rezistență și de impuls) se suprapune și forța/cîmpul electric/magnetic, toate acestea determinînd corespunzător mișcarea și depunerea particulelor.

3.2.3.3. **Rezistența la mișcare în lichide.** Forța de rezistență pe care o întîmpină un corp la mișcarea într-un fluid este dată de expresia:

$$F_R = k \cdot d^n \cdot v^n \cdot \mu^{2-n} \cdot \rho_0^{n-1} \qquad (3.49)$$

Scanned with OKEN Scanner

determinată experimental [16] și care reprezintă o dezvoltare a ecuațiilor date de legile lui Stokes și Newton și care au, respectiv, expresiile :

$$F_{RS} = k_S d v \mu, \qquad k_S, \text{ pentru sfere este } 3\pi \tag{3.50}$$

$$F_{RN} = k_N d^2 v^2 \rho_0, \quad k_N, \text{ pentru sfere este } \pi/16. \tag{3.51}$$

În relațiile (3.49) ... (3.51) s-au notat cu : d [m], diametrul particulei ; v [m/s], viteza particulei μ [kg/ms], viscozitatea dinamică a lichidului ; ρ_0 [kg/m^3], densitatea lichidului.

Forța rezistentă, în cazul mișcărilor laminară sau turbulentă, se determină pentru $n = 1$ și, respectiv, $n = 2$. Se obțin, astfel, expresiile :

$$F_{R,l} = K d v \mu = F_{RS}, \text{ pentru mișcare laminară} \tag{3.49'}$$

$$F_{R,t} = K d^2 v^2 \rho_0 = F_{RN}, \text{ pentru mișcare turbulentă} \tag{3.49''}$$

Între cele două tipuri de curgere, există un domeniu relativ larg al stratului limită, în care F_R este depedentă, atît de μ, cît și de ρ_0. Allen, citat de Dallawale [16], a găsit, pentru zona de tranziție valoarea 2/3 pentru exponentul n. Se obține astfel :

$$F_{R,tr} = k d_0^{2/3} v^{2/3} \mu^{4/3} \rho_0^{-1/3} \tag{3.52}$$

unde d_0 înlocuiește pe d și include o constantă care definește limita inferioară de aplicabilitate. S-a stabilit că :

$$d_0 = d - \xi \underline{d}, \tag{3.53}$$

în care : d este diametrul fizic ; $\underline{d}$ — diametrul limită pînă la care este validă legea lui Stokes (3.50) ; ξ — o constantă ce depinde de forma reală a particulei.

În SI, $\xi = 0{,}4 \cdot 10^{-2}$, pentru sfere, iar pentru particulele de nisip/cuarț, $\xi = 0{,}279 \cdot 10^{-2}$. Valoarea lui $\underline{d}$ a fost obținută de Allen și are expresia

$$\underline{d} = \sqrt[3]{\frac{36\,\mu^2}{g\,\rho_0(\rho - \rho_0)}}. \tag{3.54}$$

3.2.3.4. **Viteza limită sau mărimea hidraulică.** Dacă densitățile particulei și fluidului sînt ρ și $\rho_0 < \rho$, iar diametrul d al particulei este rezultatul unei măsurători carecare, astfel încît volumul său $V = \alpha d^3$, greutatea aparentă a corpului este diferența între greutate și forța arhimedică :

$$G_{ap} = G - F_A = \alpha d^3 (\rho - \rho_0)\, g. \tag{3.55}$$

Scanned with OKEN Scanner

Epuizarea regimului tranzitoriu al căderii ($dv/dt = 0$) se atinge atunci cînd $v = v_m$ (limită) pentru care

$$F_R = G_{ap}. \tag{3.56}$$

Înlocuind în (3.56) ecuaţia (3.55) şi cele trei expresii (3.50/3.49'), (3.51/3.49'') şi (3.52) ale forţei de rezistenţă F_R, corespunzătoare curgerilor laminară, strat limită şi turbulentă, se obţin expresiile vitezei limită sau mărimii hidraulice pentru fiecare caz în parte. Astfel, se obţin:

$$v_{m,l} = K_l \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right) d^2 \nu^{-1} \tag{3.57}$$

$$v_{m,tr} = K_{tr} \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right)^{2/3} d_0 \nu^{-1/3} \tag{3.58}$$

$$v_{m,t} = K_t \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho} \right)^{1/2} d^{1/2} \tag{3.59}$$

unde K_l, K_{tr} şi K_t sînt constante care se determină experimental.

În tabelul 3.3 se prezintă, după Dallawale [16] şi atribuite lui Martin, Burke şi Plummer, date pentru particule sferice, de cuarţ şi cocs, sfărîmate şi neregulate. În fig. 3.18 sînt reprezentate legile (3.57) ... (3.59).

Tabelul 3.3

Constanta vitezei limită pentru diferite forme de particule în mişcare laminară şi turbulentă

Forma particulei	K_l	K_t
Sfera	54,5	24,5
Cuarţ neregulat	36	50
Cocs neregulat	35	48

Întrucît diametrul particulei este cel care primează, acesta impune tipul de mişcare, iar viteza limită are, în funcţie de diametru, cea mai mică valoare (şi legea coresunzătoare) la intersecţia verticalei ridicată din d_1.

Scanned with OKEN Scanner

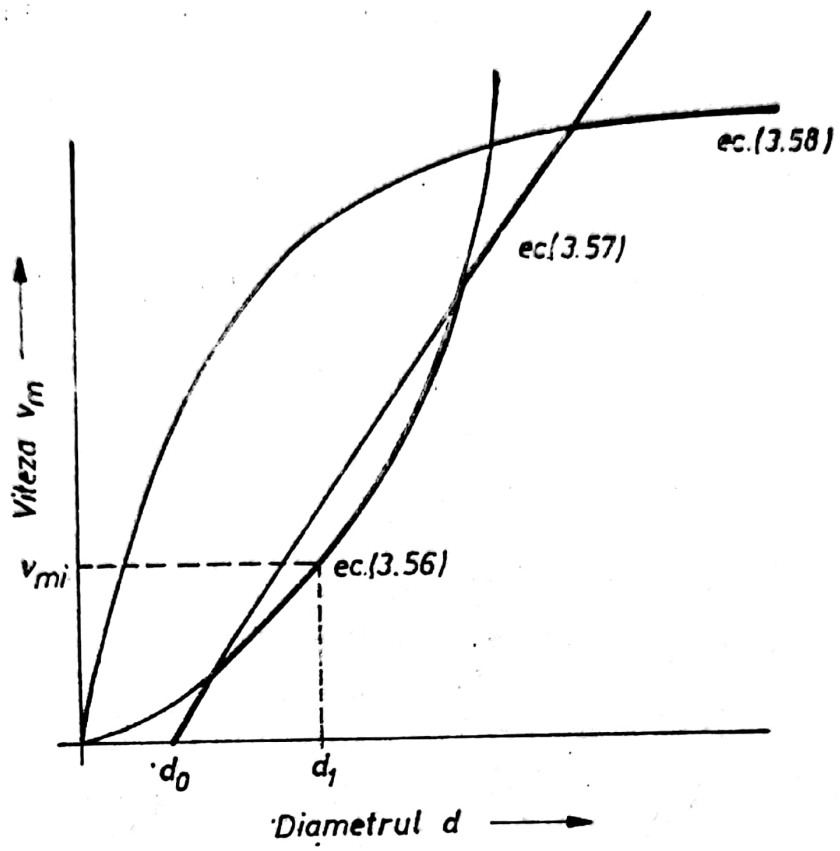


Fig. 3.18. Variaţia vitezelor limită în raport cu diametrul particulei.

3.2.3.5. Viteza de urcare a unei particule într-un curent de lichid. O astfel de situaţie poate surveni chiar la funcţionarea filtrelor montate vertical, în alte locuri ale IAH/IAP/IRU. Rubey [16] a determinat expresia vitezei pe baza ecuaţiei de echilibru dintre forţele: de greutate, G; arhimedică, F_A; de rezistenţă vîscoasă, F_{RN} (newtoniană) şi F_{IM} de impuls între fluid şi particula considerată sferică, de diametru d. Se obţine astfel:

$$+F_A - G + F_{RN} + F_{IM} = 0 \qquad (3.60)$$

$$\frac{\pi d^3}{6}\rho_0 g - \frac{\pi d^3}{6}\rho g + 3\pi d\mu v + \frac{\pi d^2}{4}\rho v^2 = 0. \qquad (3.60')$$

Rezolvînd ecuaţia (3,60') în raport cu v şi reţinînd rădăcina pozitivă, se obţine expresia vitezei:

$$v = -\frac{6\mu}{\rho_0 d} + \sqrt{\frac{36\mu^2}{\rho_0^2 d^2} + \frac{2}{3} g d\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right)}. \qquad (3.61)$$

Scanned with OKEN Scanner

3.2.3.6. Relaţia dintre forţa de rezistenţă şi numărul lui Reynolds. Forţa de rezistenţă la curgere laminară poate fi pusă în evidenţă şi printr-un coeficient de rezistenţă C_R sub forma :

$$F_{RN} = C_R A \frac{1}{2} \rho_0 v^2 = k_S v d \mu, \tag{3.62}$$

unde A reprezintă aria secţiunii transversale, $\pi d^2/4$ pentru sfere (explicitînd pe C_R).

Înlocuind A în (3.62) şi pe $k_S = 3\pi$ şi simplificînd, se obţin succesiv :

$$C_R = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{2} \rho_0 v^2 = k_S v d \mu ; \tag{3.62'}$$

$$C_R = \frac{8}{\pi} \frac{k_S \mu}{dv \rho_0} = \frac{8}{\pi} \frac{k_S}{\mathrm{Re}_S} ; \tag{3.63}$$

$$C_R = \frac{24}{\mathrm{Re}_S}, \tag{3.64}$$

unde s-a notat cu $\mathrm{Re}_S = dv\rho_0/\mu$, numărul lui Reynolds adimensional. Valoarea critică a numărului lui Reynolds pentru mişcarea particulei în lichid, $\mathrm{Re}_{S,cr}$ este 2 [16]. După unii autori însă [30], acesta are valoarea 1.

În fig. 3.19 este prezentată variaţia coeficientului de rezistenţă C_R în funcţie de numărul Re_S. Pentru domeniul turbulenţei, $C_R \simeq$ $= \mathrm{ct} = 0{,}4$. Pentru mişcarea orizontală şi pentru întreg domeniul lui Re_S, relaţia dintre C_R şi Re_S este (3.65) şi descrie cu suficientă precizie relaţia dintre aceste mărimi :

$$\sqrt{C_R} = 0{,}63 + 4{,}8/\sqrt{\mathrm{Re}_S}. \tag{3.65}$$

Coeficientul C_R depinde şi de sfericitatea φ a particulei, aşa cum se prezintă în [30], fiind tot mai mare pe măsură ce φ scade, ceea ce înseamnă că forma ideală a particulei este cea sferică.

Pentru mişcarea verticală a particulelor în cîmp gravitaţional, coeficientul C_R este dat de trei ecuaţii diferite, şi anume :

— mişcare laminară $10^{-4} < \mathrm{Re}_S < 2$; $C_R = 24/\mathrm{Re}$; (3.66)

— mişcare de tranziţie $2 < \mathrm{Re}_S < 500$; $C_R = 0{,}4 + 40/\mathrm{Re}$; (3.67)

— mişcare turbulentă, conform fig. 3.19, *a*, $500 < \mathrm{Re}_S < 10^5$;

$C_R = \mathrm{ct} = 0{,}44.$ (3.68)

Scanned with OKEN Scanner

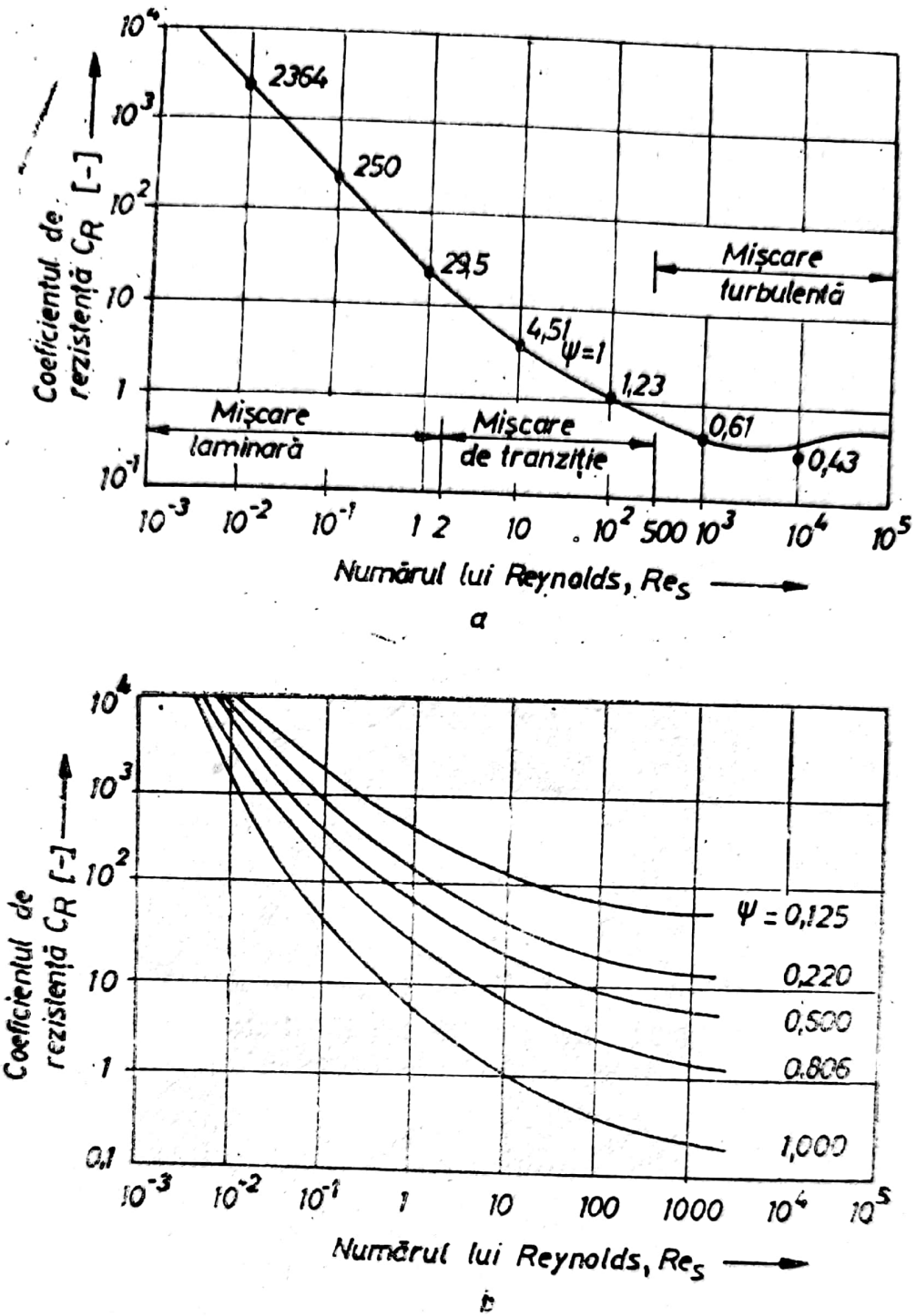


Fig. 3.19. Variația coeficientului de rezistență C_R cu numărul lui Reynolds.

3.2.3.7. Ecuațiile de mișcare ale particulelor. Mișcarea bidimensională a particulelor în lichid este specifică procesului de sedimentare din rezervor și funcționării filtrelor electrostatice și electromagnetice. Este necesară, în acest context, cunoașterea traiectoriei $y(x)$ a particulei și coordonarea/corelarea ei cu relațiile constructiv-dimensionale ale elementelor de instalație arătate. Cu unele limitări

Scanned with OKEN Scanner

datorate aproximărilor operate, legate de neglijarea posibilei rotații a particulelor etc., aspectele teoretice prezentate în cele ce urmează reflectă, în mod acoperitor, fenomenele care au loc la interacțiunea lichid-particulă în IAH/IRU.

a. Mișcarea bidimensională a particulelor

Acest gen de mișcare este specific particulelor în interiorul rezervorului IRU (v. fig. 3.23, *b*), unde sînt introduse cu viteza v_{ox} orizontală, inițială, și pătrund în lichidul din rezervor. Cum viteza de ieșire a fluidului din incinta de intrare este cu mult mai mică decît viteza de ieșire $v_e = v_0\ S_i/S_e$, unde $S_i << S_e$, aria în plan orizontal a rezervorului), mișcarea particulei în interiorul lichidului din rezervor se desfășoară cu viteză orizontală continuu scăzătoare.

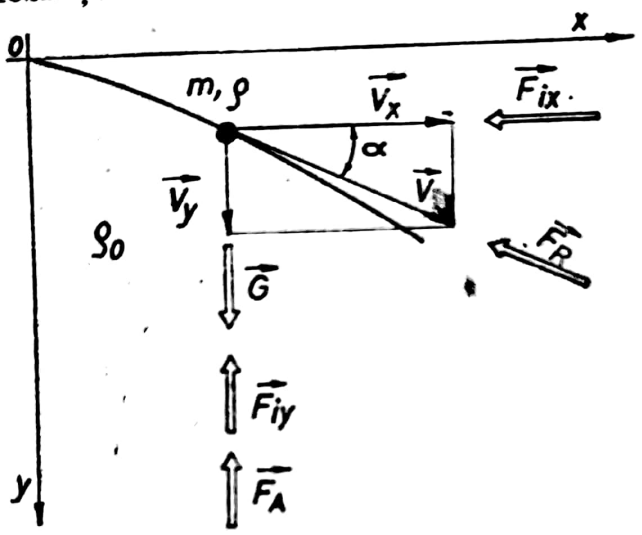


Fig. 3.20. Schema de calcul a traiectoriei particulei în mișcare plană.

Considerăm o particulă de masă m, arie transversală A și densitate ρ, care se mișcă în cîmpul gravitațional g, într-un fluid cu densitate ρ_0 și care îi opune o forță rezistentă F_R, ce face unghiul $\alpha(t)$ cu tangenta la traiectorie, la orice moment t și poziție x, y (fig. 3.20). Se atașează particulei sistemului de coordonate xoy. Echilibrul forțelor după cele două direcții conduce la cele două ecuații de echilibru :

$$m(\mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t) = -F_R \cos \alpha \tag{3.69}$$

$$m(\mathrm{d}v_y/\mathrm{d}t) = mg(1 - \rho_0/\rho) - F_R \sin \alpha, \tag{3.70}$$

în care s-au luat în considerare forțele de greutate G, de inerție F_i și arhimedică F_A, iar F_R are expresia :

$$F_R = \rho_0 v^2 C_R A/2.$$

Scanned with OKEN Scanner

Avînd în vedere că : $\sin \alpha = v_y/v$; $\cos \alpha = v_x/v$ și $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ și înlocuindu-le în ecuațiile (3.69) și (3.70), se obține :

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{\rho_0 C_R A v v_x}{2m} \tag{3.71}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) - \frac{\rho_0 C_R A v\, v_y}{2m}. \tag{3.72}$$

Soluția sistemului de ecuații ale mișcării nu este explicită și se poate obține doar pe cale incrementală pe baza ecuațiilor trecute sub forma :

$$\Delta v_x = -\frac{\rho_0 C_R A v\, v_x}{2m}\Delta t; \tag{3.73}$$

$$\Delta v_y = \left[g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) - \frac{\rho_0 C_R A v\, v_y}{2m}\right]\Delta t. \tag{3.74}$$

Sugerăm, pentru calcul, următoarea succesiune de etape. Se cunosc valorile inițiale ale lui v, v_x și v_y, C_R (Re_S), precum și datele m, ρ, ρ_0, A, și avem în vedere că $\mathrm{Re}_S = \rho_0 v d/\mu$ este variabil cu v. Se calculează, pentru sfîrșitul unui interval/increment inițial $\Delta t = 0{,}01$ s (de exemplu), noile valori ale lui Δv_x, Δv_y : $v_x(= v_{ox} - \Delta v_x)$; $v_y(= v_{oy} + \Delta v_y)$, $v(= \sqrt{v_x^2 + v_y^2})$, Re_S, C_R, $v\, v_x$, $v\, v_y$. Se repetă operația pentru următorul interval de timp. Incrementul Δt poate fi variabil în funcție de precizia de calcul dorită.

Determinarea traiectoriei se face apoi, cu ușurință, dacă se cunosc datele planului viteză-timp prin integrare grafică.

Presupunînd că particulele contaminate din fluid sînt asimilate unor particule sferice cu diametrul nominal $d_n = 30$ μm (diametrul calculat cu una din metodele prezentate anterior) cu $\rho = 7{,}8 \cdot 10^3$ kg/m³ ; $A = d_n^2/4 = 7{,}069 \cdot 10^{-10}$ m² ; $m = \pi d^3 \rho/6$; $m = 1{,}103 \cdot 10^{-10}$ kg, iar fluidul este ulei avînd $\rho_0 = 900$ kg/m³, $\nu = 30 \cdot 10^{-2}$ m²/s ; $\mu = \rho_0 \cdot \nu = 2{,}7 \cdot 10^2$ kg/(m · s), considerînd că mișcarea are loc într-un cîmp care determină o accelerație $a_e = 10\ g$ și, înlocuind aceste date în relațiile (3.73) și (3.74), se obține :

$$\Delta v_x = -2{,}88 \cdot 10^{-4}\, C_R v\, v_x \Delta t \tag{3.75}$$

$$\Delta v_y = (8{,}846 - 2{,}88 \cdot 10^{-4} C_R\, v\, v_y)\Delta t \tag{3.76}$$

Determinarea traiectoriei se face, apoi, dacă se cunosc datele planului viteză-timp, prin integrare grafică.

Scanned with OKEN Scanner

b. Mişcarea plană a particulelor în interiorul filtrelor electrostatice

Prezenţa cîmpurilor electrice în interiorul filtrelor, amplasate orizontal, determină modificarea lui g care trece în a, dat de însumarea lui g cu g_e, echivalent, creat pe cale electrică de forţa (e)lectro(st)atică F_{est} care acţionează asupra particulelor de masă m. Se scrie :

$$g_e \Rightarrow g + F_{est}/m. \tag{3.77}$$

În consecinţă, ecuaţia (3.72) se modifică corespunzător şi ea, în timp ce viteza v_x rămîne constantă şi egală cu cea a lichidului purtător v_0. Se scrie astfel :

$$\frac{dv_x}{dt} = 0 \qquad (v_x = v_0 = ct) \; ; \tag{3.78}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \left(g + \frac{F_{est}}{m} \right) \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) - \frac{\rho_0 C_R A v \, v_y}{2m}. \tag{3.79}$$

Nici aici nu este posibilă separarea variabilelor şi rezolvarea sistemului, care, avînd în vedere cele arătate, $v_x = v_0$ şi $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$, devine :

$$v_x = v_0 \tag{3.80}$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \left(g + \frac{F_{est}}{m} \right) \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) - \frac{\rho_0 C_R A v_y \sqrt{v_0^2 + v_y^2}}{2m} \tag{3.81}$$

Trecînd la forma incrementală pentru ecuaţia (3.81), se scrie :

$$\Delta v_y = \left[\left(g + \frac{F_{est}}{m} \right) \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) - \frac{\rho_0 C_R A \Delta v_y \sqrt{v_0^2 + \Delta v_y^2}}{2m} \right] \Delta t \tag{3.81'}$$

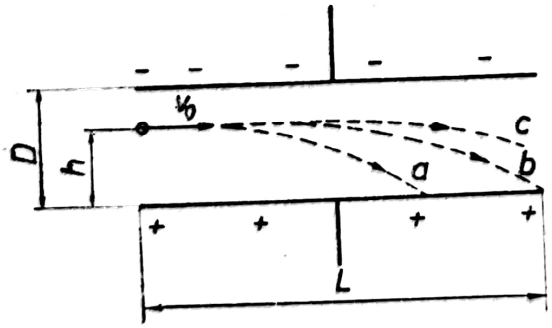


Fig. 3.21. Curgerea plană în cîmp electrostatic.

Dacă se creează cîmpul electrostatic cu ajutorul unui condensator plan cu distanţa D între armături şi alimentat de o sursă la diferenţa de potenţial U, iar particulele sînt electrizate cu sarcina q, atunci forţa electrostatică este dată de expresia (fig. 3.21) :

$$F_{est} = E\,q = U\,q/D. \tag{3.82}$$

Scanned with OKEN Scanner

Din punct de vedere practic, $F_{est} >> gm$ și se neglijează și efectul greutății și forței arhimedice. Relația (3.81') se simplifică în consecință :

$$\Delta v_y = \left[\frac{Uq}{md} - \frac{\rho_0 C_R A \Delta v_y \sqrt{v_0^2 + \Delta v_y^2}}{2m} \right] \Delta t. \qquad (3.83)$$

Tensiunea U este o mărime asupra căreia se poate interveni pentru a crește procentul de particule reținute de filtru.

După determinarea curbei $v(x, y)$, prin integrare grafică, se obține expresia traiectoriei $y(x)$. În cazul cel mai defavorabil, cel al particulei pătrunsă în cîmpul electric într-un punct cu $h = D$, condiția de reținere a acesteia de către condensator este $y(L) = D$ (cazul b sau a). Asupra modului de electrizare a particulelor, se va reveni într-un capitol ulterior.

În cazul cel mai simplificat, specific calculelor nepretențioase, în care $F_{est} >> \rho_0 \cdot C_R A v_y v$, ecuațiile devin :

$$\Delta v_x = v_0,$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{Uq}{hm} = a, \qquad (3.84)$$

iar traiectoria particulei analizate devine, avînd în vedere ecuațiile de mișcare după ox și oy :

$$(x = v_x t \text{ și } y = at^2/2)$$

$$y = \frac{Uq}{hm} \frac{x^2}{2 v_0^2}. \qquad (3.85)$$

e. Mișcarea verticală a particulelor

Acest tip de mișcare este specific procesului de sedimentare ce are loc în rezervoarele IAH/IRU în perioada imediat ulterioară opririi instalației din funcționare. În acest caz, particulele nu au decît componenta verticală $v_y = v$, întrucît $v_x = 0$. Ecuația (3.72) devine :

$$\frac{dv}{dt} = g \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) - \frac{\rho_0 C_R A v^2}{2m}. \qquad (3.86)$$

Se impune rezolvarea acestei ecuații pentru cele trei tipuri de mișcări : turbulentă ($Re_s > 500$) ; laminară ($Re < 2$) și strat

Scanned with OKEN Scanner

limită $Re_s \in [2; 500]$. Ecuația (3.86) se rezolvă mai ușor dacă se înlocuiește $v = R\mu/\rho_0 d$. Se obține:

$$\frac{\mu A t}{2md} = \int_{Re_{s,0}}^{Re_s} \frac{dR}{\Phi_1 - C_R R^2}, \tag{3.87}$$

unde cu Φ_1 s-a notat

$$\Phi_1 = 2g\rho_0(\rho - \rho_0)md^3/\rho\mu^2 A, \tag{3.88}$$

iar limitele de integrare sînt alese pentru $t = 0$ și $t = t$ cînd Re_s este $Re_{s,0}$ și, respectiv, Re_s oarecare.

— *pentru mișcarea laminară*, ecuația (3.87) devine, după înlocuirea lui C_R cu $24/Re_s$:

$$\frac{\mu A t}{2md} = \frac{1}{24} \ln \frac{\Phi_1 - 24\, Re_{s.0}}{\Phi_1 - 24\, Re_s}. \tag{3.89}$$

Această relație poate fi transformată, dacă se au în vedere vitezele inițială și limită v_0 și respectiv, v_m. Întrucît

$$\Phi_1 = C_R Re^2_{s.max} = 24\, Re_{s.max} - 24\, \rho_0 v_m d/\mu, \tag{3.90}$$

unde $Re_{s,max}$ și v_m sînt valorile maximă a numărului Re_s și, respectiv, viteza limită. Pentru determinarea vitezei limită, pornind de la ecuația (3.65) pusă sub forma

$$Re_s C_R = 0{,}4\, Re_s + 23 + 6/\sqrt{Re_s}, \tag{3.64'}$$

se obține, pentru particula caracterizată prin ρ, m, d, A aflată în lichidul cu ρ_0 și μ și în cîmpul g:

$$v_m = g(\rho - \rho_0)md/12\ \rho\mu A. \tag{3.91}$$

Spațiul h străbătut de particulă în timpul t este:

$$h = v_m t - (v_m - v_0)\frac{md}{12\,\mu A}\left[1 - e^{-\frac{12\,\mu A}{md} t}\right], \tag{3.92}$$

unde v_0 este viteza inițială, dacă există.

— *pentru mișcarea turbulentă*, caracterizată prin coeficient de rezistență $C_R = ct = 0{,}44$, integrala ecuației (3.87) conduce la un spațiu h parcurs în timpul oarecare t dat de relația:

$$h = \frac{4{,}5\, m}{\rho_0 A} \ln \left[\frac{(v_m + v_0)e^{\frac{0.44\,\rho_0 A v_m}{m} t} + (v_m - v_0)}{2v_m}\right] - v_m t. \tag{3.93}$$

Scanned with OKEN Scanner

În această ecuație, v_m se obține din ecuația (3.88) care se consideră că este

$$\Phi_1 = 0{,}44\ R^2 = 0{,}44\ \rho_0 v_m d/\mu, \tag{3.94}$$

care conduce la

$$v_m = \sqrt{g(\rho - \rho_0)m/(0{,}22\rho \cdot \rho_0 A)}. \tag{3.95}$$

d. Sedimentarea particulelor în rezervor

Procesul de sedimentare este un proces complex, diferit la IAH și IRU, datorită modului de intrare a fluidului în rezervor și al construcției acestuia, fapt care modifică condițiile inițiale ale mișcărilor particulelor și desfășurarea traiectoriilor (fig. 3.22). Cu toate acestea,

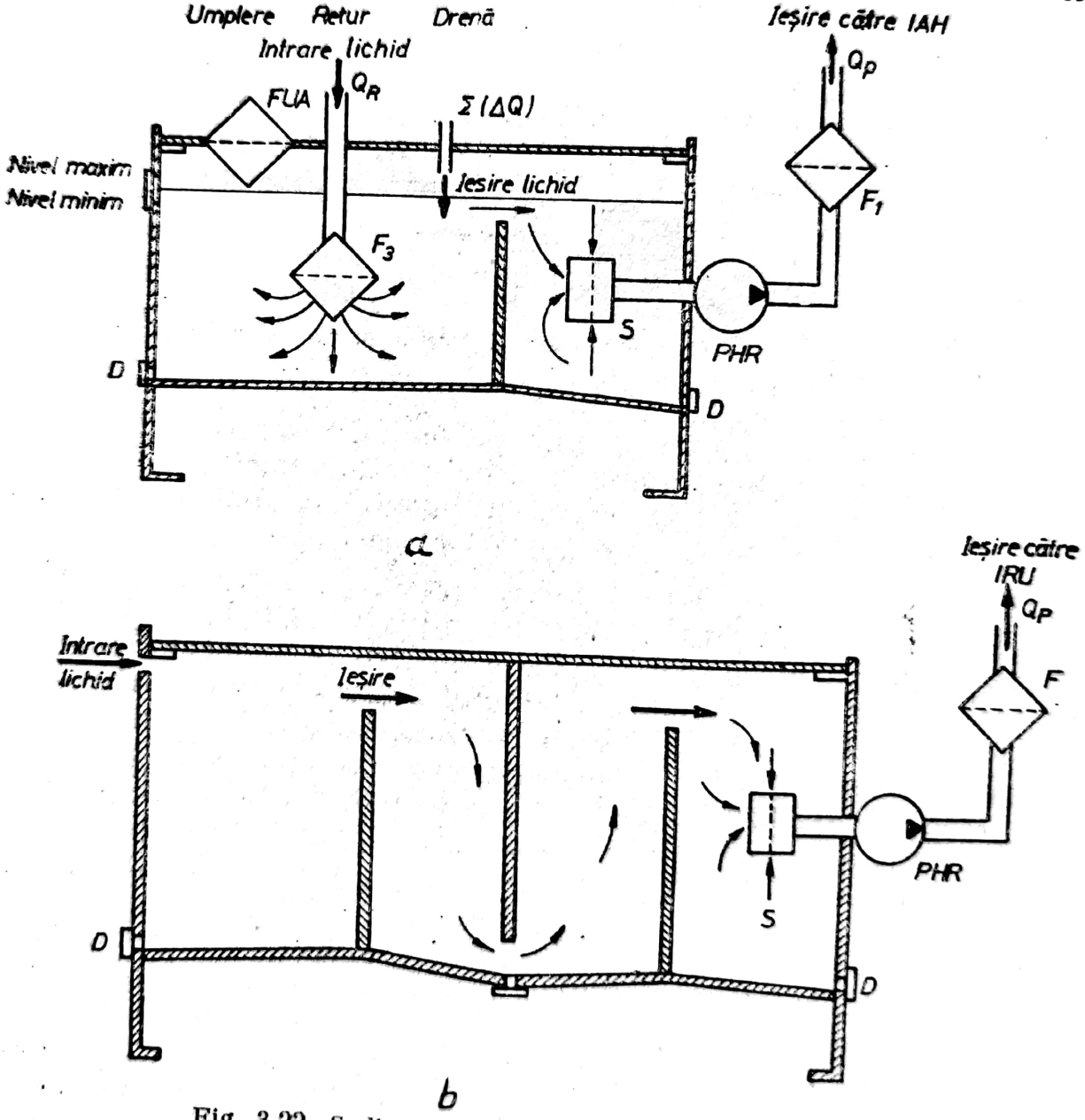


Fig. 3.22. Sedimentarea particulelor în rezervor.

Scanned with OKEN Scanner

pot fi identificate cîteva situaţii caracteristice şi tratate aşa cum s-a văzut mai sus. Restul situaţiilor pot fi tratate prin asocierea proprietăţilor arătate şi a ecuaţiilor de mişcare plană (orizontală şi verticală) prezentate anterior. Astfel, sedimentarea are loc, fie în absenţa componentelor orizontale ale vitezelor particulelor, fie şi în prezenţa acestora. În acest fel, un procent P de particule se separă

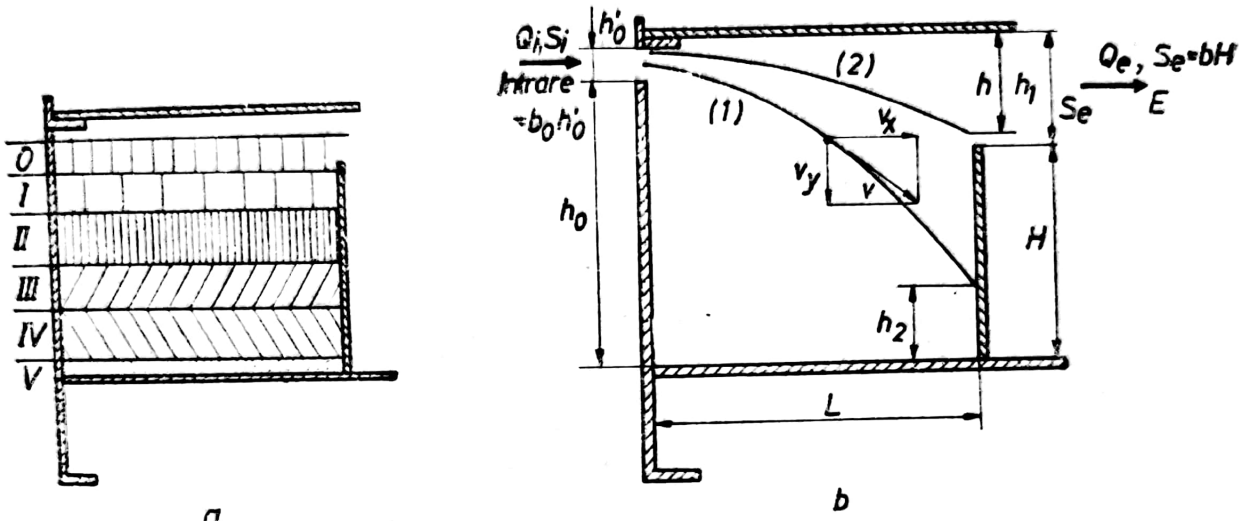


Fig. 3.23. Zonele de sedimentare liberă a particulelor în lichid.

de mediul lichid activ şi se depun pe fundul rezervorului, sau, mai întîi, pe pereţi şi apoi alunecă pe fund. Viteza mică a lichidului în rezervor ($v_R << v_0$) nu permite antrenarea cu lichidul în mişcare a acestor particule şi, în special, a celor mari.

Din acest motiv şi altele, se recomandă ca returul din IAH să fie relativ adînc introdus în rezervor sub nivelul lichidului şi acesta să fie riguros controlat şi respectat pentru a nu permite reintroducerea particulelor depuse în lichidul activ şi spumarea (poluarea lichidului cu aer). În plus, se recomandă curăţarea rezervorului şi îndepărtarea particulelor depuse (sub forma unui mîl) la anumite intervale de timp. La echipamentele aerospaţiale, filtrarea în exterior a lichidelor hidraulice este recomandată şi practicată.

Sedimentarea particulelor în suspensie în lichid se realizează în timp, stratificat în concentraţie pe verticală. Viteza de sedimentare scade pe verticală, în jos, datorită creşterii concentraţiei de particule. Mai întîi, în zona *I* (fig. 3.23, *a*), particulele se depun liber, nu se ciocnesc între ele; în zona *II*, are loc o depunere în masă, încetinită datorată creşterii concentraţiei de particule care reduce spaţiile libere parcurse de particule, particulele rapide sînt frînate de cele lente; în zona *III*, particulele încep să se se apropie de zona *IV*

Scanned with OKEN Scanner

de depunere, în timp ce zona V este zona depunerii particulelor cele mai fine şi a concentraţiei celei mai mari. În zona O se găseşte lichid limpede.

Sedimentarea particulelor în zona de tip I la IRU se face liber după schema din fig. 3.23. *b*. Traiectoria unei particule este dată de ecuaţii de forma (3.71) şi (3.72). Dacă particula are o asemenea traiectorie (*1*), încît atinge peretele separator vertical într-un punct cu $h_2 < H$, aceasta se va depune pe perete; în caz contrar, traiectoria (*2*), particula nu atinge peretele şi trece în zona următoare a rezervorului.

Presupunînd cazul în care particulele cad cu viteza limită oarecare v_m, dată de relaţia (2.4), încă de la intrare, procentul de particule reţinute, P [%], se poate determina, pe baza considerentelor geometrice, din fig. 3.23, *b*, ţinînd seama că există un număr de particule N_0 ce cad, în acelaşi timp, cu viteza v_{m0}, pe toată înălţimea $h_0' + h_0$, în timp ce un alt număr N_1 nu ajung decît la limita $h_1 = h_0 + h_0' - H$. Din condiţia de egalitate a timpilor de mişcare, se obţine:

$$t = \frac{h_1}{h_0' + h_0} = \frac{v_{mi}}{v_{m0}}. \tag{3.96}$$

Procentul P_1 [%] al particulelor nereţinute, pentru care $v_{m_i} < v_m$ (v_{mi} este viteza limită a unei particule oarecare i), este:

$$P_1\,[\%] = 100\,\frac{N_1}{N_0} = \frac{h_1}{h_0' + h_0} = \frac{v_{mi}}{v_{m0}}. \tag{3.97}$$

iar procentul P [%] al particulelor reţinute este:

$$P\,[\%] = 100 - P_1 = 100\,\frac{N_0 - N_1}{N_0} = 100\,\frac{H}{h_0' + h_0}. \tag{3.98}$$

Rezultă de aici că posibilităţile de creştere a procentului P sînt, fie prin creşterea lui H (acesta este, însă, din motive, de curgere, inferior lui h_0), fie, mai ales, prin diminuarea sumei $h_0' + h_0$ şi în special al lui h_0. Cu alte cuvinte se recomandă ca înălţimea rezervorului să fie cît mai mică posibil.

e. Mişcarea centrifugală a particulelor. Filtrul centrifugal

Considerăm o instalaţie de purificare prin centrifugare a lichidelor folosite la IAH/IRU (fig. 3.24). Particulele intră continuu împreună cu lichidul purtător prin partea inferioară a cilindrului care se roteşte cu o viteză unghiulară ω ridicată. Datorită acesteia, sus-

Scanned with OKEN Scanner

pensia de particule avansează către partea superioară a centrifugii, formînd un strat spre peretele acesteia și o coloană axială de aer, avînd raza R_1.

O particulă intrată în partea de jos urmează o traiectorie elicoidală, particulele mai grele se separă pe perete mai aproape de intrare (A_1), iar cele mai ușoare tot mai departe, către ieșirea lichidului (A_2), pînă ce suspensia atinge nivelul de ieșire. Așadar, pentru o viteză ω dată, un debit Q, într-un fluid (ρ_0, μ) și un set de dimensiuni R_1, R_2 există o dimensiune minimă, ultimă, de particulă care se mai depune pe perete. Particulele sub această dimensiune nu mai au timp să se depună pe peretele filtrului sau să părăsească orice ieșire prevăzută special pentru ele de-a lungul peretelui. În cadrul studiului interesează a se găsi :

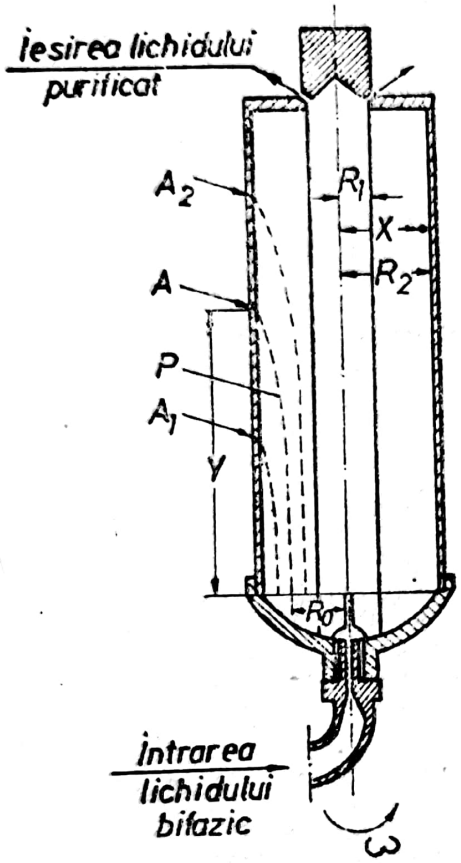


Fig. 3.24. Secțiune printr-o centrifugă de filtrare.

— ecuația traiectoriei particulei ;

— corelația dintre mărimea funcțională Q, caracteristicile lichidului (ρ_0, μ) și cele ale particulei (φ, A), pentru a se asigura depunerea unei particule de dimensiune d dintr-un filtru de înălțime/lungime h.

Componenta verticală a mișcării unei particule în suspensie în fluidul cu debitul volumic Q este determinată de ecuația :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{KQ}{\pi(R_2^2 - R_1^2)} \left(R_1^2 \ln \frac{R}{R_1} + \frac{R_2^2 - R^2}{2} \right), \tag{3.99}$$

unde notațiile sînt cele din figura 3.24, R este o rază oarecare, iar K este o constantă dată de expresia :

$$K = \frac{R_2^2 - R_1^2}{\frac{3}{4} R_1^4 + \frac{R_2^4}{2} - R_1^2 R_2^2 - R_2^4 \ln \frac{R_1}{R_2}} \tag{3.100}$$

Scanned with OKEN Scanner

Componenta radială a mișcării particulei este dată de expresia vitezei radiale :

$$v_r = \frac{dR}{dt} = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega^2 R}{18\,\mu}(\rho - \rho_0)d^2. \qquad (3.101)$$

Ecuația traiectoriei rezultă din împărțirea ecuației (3.99) la ecuația (3.101) și, înlocuind R din diferențială cu x, se obține :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{18\,KQ\mu}{\pi(R_2^2 - R_1^2)d^2\omega^2 R(\rho - \rho_0)}\left(R_1^2 \ln\frac{R}{R_2} + \frac{R_2^2 - R^2}{2}\right). \qquad (3.102)$$

Integrînd între limitele $y = 0$, pentru $R = R_0$, și $y = y$, pentru $R = R_2$, și menținînd constanți pe Q, ω și μ, se obține poziția unui punct A situat la distanța y, oarecare, dată de expresia :

$$y = \frac{18KQ\mu}{\pi(R_2^2 - R_1^2)d^2\omega^2(\rho - \rho_0)}\left[R_2^2 \ln\frac{R_2}{R_0} - \frac{R_1^2}{2}\left(\ln\frac{R_2}{R_0}\right) + \frac{R_0^2 - R_2^2}{4}\right]. \qquad (3.103)$$

Analizînd această ecuație, se constată că y depinde :
— de raza de intrare a particulei R_0 ;
— de factorul de centrifugare notat cu $\varkappa$, unde :

$$\varkappa = R_2^2 \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) - \frac{R_1^2}{2}\ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) + \frac{R_0^2 - R_2^2}{2}; \qquad (3.104)$$

— de diametrul particulei, d ;
— de modulul de sedimentare, notat cu ξ, și care are exprsia :

$$\xi = \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)\omega^2(\rho - \rho_0)}{18\,KQ\mu.}. \qquad (3.105)$$

Se poate astfel scrie că

$$y = \varkappa/\xi d^2. \qquad (3.106)$$

Întrucît $Q \sim d^2$, produsul $\xi d^2 \neq f(d)$, rezultă că, pentru ca o particulă de o dimensiune dată (de exemplu cea minimă) să se depună într-un filtru de înălțimea h dată, este suficient ca să se modifice debitul Q al lichidului prin filtru. Diametrul unei particule ce se poate depune pentru orice $h = y$, se calculează cu relația (3.106′) :

$$d = \sqrt{\varkappa/\xi y}. \qquad (3.106')$$

Scanned with OKEN Scanner

f. Mișcarea particulelor în hidrocicloane

Hidrocicloanele au fost introduse în industrie încă de acum aproape 40 ani, cu scopul de a separa particulele solide dispersate într-un lichid cu densitate scăzută. Referitor la calculul acestor hidrocicloane, au apărut în literatura de specialitate numeroase lucrări care tratează mai ales modul de mișcare a particulei solide în cîmpul centrifugal creat. Dintre cele mai importante lucrări despre hidrocicloane, se pot cita lucrările lui Dahlstrom, Kelsall și Rietema [68] . Studiile publicate nu dau însă o metodologie clară de proiectare a hidrocicloanelor. La noi în țară, o contribuție însemnată la calculul hidrocicloanelor și-au adus-o Barbu Mihăescu și Draga Atanasiu, care au reușit să pună la punct o metodologie de calcul concret al hidrocicloanelor.

Modul de funcționare al hidrociclonului este descris la capitolul 9.

Calculul unui hidrociclon presupune determinarea unor caracteristici geometrice și funcționale, ca : debitul ; mărimea particulelor limită ; gradul de epurare realizat.

Valorile caracteristicilor funcționale depind, atît de parametrii constructivi, cît și de condițiile de exploatare ale hidrocicloanelor.

Un exemplu de calcul al unui hidrociclon este prezentat de Povarov [63]. Modelul de calcul are în vedere determinarea debitului și a particulei limită și corespunde hidrocicloanelor cu unghiul la vîrf de 20°. Aceste caracteristici nu pot fi determinate decît aproximativ și nu pentru toate cazurile.

Debitul se poate determina cu relația :

$$Q = K_Q S \sqrt{2g\Delta p}, \tag{3.107}$$

unde : K_Q este coeficientul de debit ;

$S = \frac{\pi d_i^2}{4}$ — secțiunea conductei de intrare ;

d_i — diametrul conductei de intrare ;
g — accelerația gravitațională ;
p_i — presiunea fluidului la intrarea în hidrociclon ;
p_e — presiunea fluidului la ieșirea din hidrociclon

$$\Delta p = p_i - p_e. \tag{3.108}$$

Ecuația (3.107) se poate prezenta și într-o altă formă :

$$Q = K_Q \frac{\pi}{4} \frac{d_i}{d_s} K \sqrt{1 - \frac{p_e}{p_i}} \sqrt{2} \sqrt{g p_i}\, d_e d_i, \tag{3.109}$$

unde : d_i este diametrul conductei de alimentare;
d_e — diametrul conductei de ieşire;
d_s — diametrul ajutajului de scurgere.

Pe baza unor rezultate experimentale, se recomandă să se ia în calcul :

$$d_s = (0{,}2 - 0{,}7)d_e. \tag{3.110}$$

Se notează cu K mărimea ce caracterizează construcţia hidrociclonului :

$$Q = Kd_e d_i \sqrt{gp_i}. \tag{3.111}$$

În cazul unghiului la vîrful conului diferit de 20°, se aplică un coeficient de corecţie $= \frac{0{,}81}{\alpha\, 0{,}2}$.

Experimental, s-au stabilit cîteva relaţii între dimensiunile hidrociclonului (fig. 3.25) :

$$\begin{aligned} d_e &= (0{,}2 - 0{,}4)\, D; \\ d_i &= (0{,}4 - 1)\, d_e, \end{aligned} \tag{3.112}$$

unde : D este diametrul camerei cilindrice de turbionare.

$$\frac{d_i}{d_e} = \frac{K^*}{\sqrt{1 - \frac{p_e}{p_i}}}, \tag{3.113}$$

unde : $K^* = \frac{4\,K}{\sqrt{2} \cdot \pi K_Q}$ (3.114)

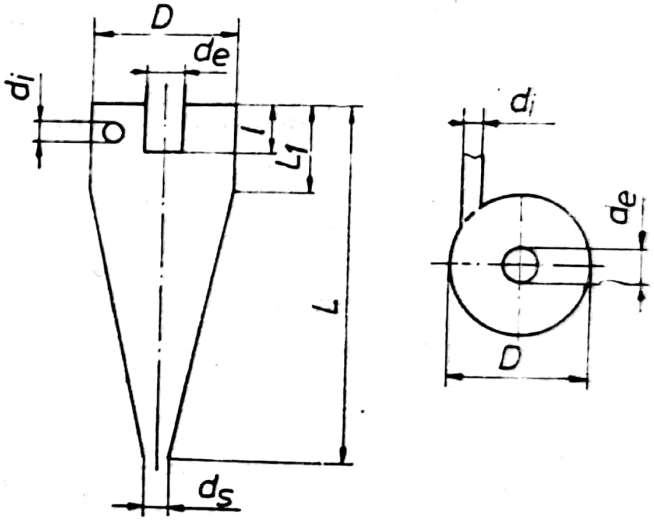


Fig. 3.25. Prezentarea schematică a hidrociclonului.

unde $K^* \cong K$, pentru hidrocicloanele la care $K_Q \cong 0{,}9$.

Rezultă că : $$p_e = p_i \left(1 - \frac{K^2 \cdot d_e^2}{d_i^2} \right). \tag{3.115}$$

Pentru determinarea mărimii particulei limită, se porneşte de la ecuaţia de echilibru între forţa centrifugă ce acţionează asupra particulei şi forţa de opunere a lichidului :

$$(m - m_0)\, \frac{v^2}{r_L} = 3\pi\eta v_r\, d_{50}, \tag{3.116}$$

Scanned with OKEN Scanner

unde : m, m_0 sînt masa particulei și masa lichidului ce are volumul unei particule ;

r_L — raza pe care se rotește particula ;

v — viteza periferică de rotație a lichidului pe raza r_L (se face ipoteza că viteza periferică a particulei este aceeași cu cea a lichidului) ;

v_r — viteza radială instantanee a particulei ;

η — viscozitatea dinamică a fazei lichide ;

d_{50} — diametrul echivalent al particulei limită, definită ca particula pentru care probabilitatea de a trece prin ajutajul de scurgere este egală cu probabilitatea de a trece prin conducta de ieșire din hidrociclon.

Se poate explicita viteza radială a mișcării particulei din ecuația (3.115), sub forma :

$$v_r = \frac{(m - m_0)v^2}{3\pi r_L \eta}. \qquad (3.116')$$

Înlocuind masele m și m_0 prin produsul dintre volumul granulei și densitatea celor două faze, rezultă :

$$v_r = \frac{d_{50}^2 v^2 (\rho - \rho_0)}{18\, r_L \eta}, \qquad (3.117)$$

unde ρ și ρ_0 exprimă densitățile fazei solide în lichide.

Presupunînd că viteza particulei este egală cu viteza lichidului, rezultă :

$$d_{50} = \frac{3}{v}\sqrt{\frac{Q\,\eta}{\pi\, h_L(\rho - \rho_0)}}, \qquad (3.118)$$

unde h_L este înălțimea coloanei de aer.

Ținînd cont de faptul că viteza periferică a lichidului poate fi exprimată funcție de viteza de alimentare v_0 prin relația :

$$v = K_x \cdot v_0$$

unde K_x este coeficientul vitezei periferice a lichidului în hidrociclon dependent de construcția hidrociclonului, iar

$$v_0 = \frac{4\,Q}{\pi d_i^2}$$

rezultă :

$$v = \frac{4\, h_x Q}{\pi d_i^2}$$

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

și
$$d_{50} = \frac{3}{4} \cdot \frac{d_i^2}{K_x} \sqrt{\frac{\pi \cdot \eta}{Q h_L (\rho - \rho_0)}}. \qquad (3.119)$$

Determinarea mărimii particulei limită prezintă un mare interes prin aceea că indică repartiția probabilă a materialului inițial la ieșirea și la scurgerea hidrociclonului.

Particulele limită se află în stare de echilibru într-o secțiune coaxială egală cu raza ajutajului de ieșire.

Granulele mai mici decît cele limită vor fi transportate în materialul evacuat (fără a lua în considerație influența densității și viscozității suspensiei), iar cele mai mari — în ajutajul de scurgere.

În calcule, mărimea h_L se alege aproximativ 2/3 din înălțimea părții conice, pentru a compensa diferențele între vitezele radiale din partea superioară și cele de la ajutajul de scurgere (datorate diferențelor de densitate).

Pe baza rezultatelor măsurătorilor experimentale, pentru coeficientul K_x, în literatura de specialitate se recomandă ca acesta să verifice relația :

$$K_x = 22{,}3 \frac{S \alpha 0{,}3}{d_e D}, \qquad (3.120)$$

unde α este unghiul la vîrf al conului.

Aceste ecuații au fost deduse pentru condițiile de mișcare ale particulei pe direcție radială pentru numere mici ale lui Reynolds.

Prin creșterea viscozității lichidului impur și datorită diferenței greutății specifice funcție de natura fazei solide, mărimea particulei limită poate să crească.

Pentru determinarea dimensiunii particulei limită, diverși autori propun variante de formule deduse teoretic și verificate experimental :

$$d_{50} = \frac{85 (d_i d_e)^{0.68}}{Q^{0,53} \sqrt{\rho - \rho_0}} \qquad \text{Formula lui Dahlstrom ;} \qquad (3.121)$$

$$d_{50} = \frac{327 d_i^2}{\sqrt{(\rho - \rho_0) h Q}} \left(\frac{d_e}{Q}\right)^{0,64} \qquad \text{Formula lui Tarjan ;} \qquad (3.122)$$

$$d_{50} = \sqrt{\frac{\eta D}{(\rho - \rho_0) n_\omega \sqrt{\Delta p}}} \qquad \text{Formula lui Trawinski,} \qquad (3.123)$$

unde n_ω reprezintă numărul de rotiri ale lichidului în interiorul hidrociclonului.

Mihăescu și Atanasiu, pentru calculul unui hidrociclon folosit la separarea fazei solide din faza lichidă, consideră date: diferența de presiune admisă: debitul dorit ; mărimea granulei limită d_{50}.

Pornind de la relaţia numărului Reynolds :

$$\mathrm{Re} = \frac{d_{50}^2 \Delta\rho \Delta p}{\eta^2} 6{,}5 = \frac{4\rho Q}{\pi d_i \eta}, \tag{3.124}$$

se determină diametrul d_i la intrarea în hidrociclon :

$$d_i = \frac{4\rho Q \eta}{\pi d_{98}^2 \Delta\rho \, \Delta p \, 6{,}5}. \tag{3.125}$$

Lungimea hidrociclonului se calculează cu relaţia :

$$L = \frac{C_{y50} \, \eta \, 2Q}{d_{50}^2 \Delta p.}. \tag{3.126}$$

unde C_{y50} este o constantă. Celelalte dimensiuni ale hidrociclonului se determină pe baza relaţiilor (3.110) şi (3.112).

Metodologia de calcul a hidrocicloanelor elaborată de Mihăescu şi Atanasiu, într-o dezvoltare mult mai amplă decît prezentarea de mai sus, a permis calculul şi proiectarea întregii game de hidrocicloane prezentate la capitolul 9 şi aflată în fabricaţia I.A.M.U.-Blaj şi I. „Steaua Roşie" Bucureşti.

g. Curgeri prin medii poroase (noţiuni elementare)

Printr-un mediu poros se înţelege un sistem nedeformabil de particule sau fibre, între care se găsesc interstiţii de diferite forme şi dimensiuni [20].

În analiza mediilor poroase, pentru simplificarea abordării problemei, se presupune că fluidul îşi păstrează constant faza iniţială şi că umple toţi porii mediului, ale căror dimensiuni nu variază în timp. De asemenea, se va lua în consideraţie numai interacţiunea mecanică dintre mediu şi fluidul ce circulă prin el.

O primă caracteristică a acestui mediu este coeficientul de porozitate, numit mai simplu porozitatea (m). Această caracteristică defineşte posibilitatea ca un anumit punct al mediului poros să fie în interstiţii sau în scheletul solid, deci permite posibilitatea de a defini sistemul de interstiţii.

Cunoaşterea sistemului de interstiţii poate permite definirea formei suprafeţei de separare între scheletul solid şi interstiţii.

Descrierea mişcării în mediul poros presupune cunoaşterea vitezei, presiunii şi a densităţii în fiecare punct din fluid, pe baza cărora putem calcula debitul de fluid printr-o secţiune oarecare în mediul poros, precum şi tensiunile ce iau naştere.

Scanned with OKEN Scanner

Determinarea mărimilor amintite presupune reevaluarea sistemului neliniar de ecuaţii Navier-Stokes completat cu ecuaţia continuităţii şi ecuaţi de stare pentru o configuraţie complicată a suprafeţelor în contact cu fluidul.

În regim liniar, mişcarea unui fluid printr-un mediu poros se face conform legii lui Darcy. Pentru cazul mişcării staţionare în absenţa forţelor masice exterioare, legea lui Darcy se scrie :

$$\vec{u} = -\frac{k}{\rho g} \operatorname{grad} p ; \tag{3.127}$$

$$\vec{v} = m\vec{u}, \tag{3.128}$$

unde : $\vec{u}$ este viteza fluidului liber ;
$\vec{v}$ — viteza de filtraţie ;
m — porozitatea ;
k — coeficientul de filtraţie ;
p — presiunea.

De viscozitatea fluidului (parametru foarte important la curgerile prin medii poroase) se ţine cont în mod implicit prin coeficientul k. Pentru a se explicita efectul viscozităţii, se introduce coeficientul k^*, numit coeficientul de permeabilitate, prin relaţia :

$$k^* = \frac{\eta}{\rho g} k, \tag{3.129}$$

unde : η este viscozitatea cinematică a fluidului.

În aceste condiţii, legea lui Darcy capătă forma :

$$\vec{v} = -\frac{k^*}{\eta} \operatorname{grad} p. \tag{3.130}$$

Această relaţie este satisfăcătoare pentru descrierea mişcării într-un mediu poros omogen, deci pentru $k^* =$ constant.

Relaţia dintre porozitate şi coeficientul de filtraţie, sau legătura dintre porozitate şi permeabilitate, trebuie să fie astfel încît :

$$\lim_{m \to 0} k = 0 \text{ dacă} \tag{3.131}$$

$$k = k(m).$$

În general, mediile poroase sînt neomogene şi anizotrope, deci k^* nu este constant. Relaţia (3.130) poate fi acceptată şi în acest caz cu deosebirea că acum k^* este un tensor.

Scanned with OKEN Scanner

Datorită multitudinii de parametri care pot fi luaţi în consideraţie, este foarte greu să se dea un criteriu general de clasificare a mediilor poroase.

Şt. I. Gheorghiţă [34] propune o clasificare a lor, luînd drept criteriu permeabilitatea. Funcţie de aceasta, mediile poroase pot fi:

— mediu poros omogen, pentru care coeficientul de permeabilitate este constant în tot domeniul;

— mediu poros neomogen de tip 0, cînd mediul este omogen şi conţine cavităţi;

— mediu poros neomogen de tip I, cînd mediul este omogen cu incluziuni impermeabile. Acestea pot fi considerate medii poroase cu coeficientul de permeabilitate 0;

— mediu poros neomogen de tip II, cînd mediul este omogen pe porţiuni. Corpul poros ocupă în acest caz un domeniu D, compus din subdomenii disjuncte, iar în fiecare dintre ele coeficientul de permeabilitate are valoarea constantă;

— mediu poros neomogen de tip III, cînd coeficientul de filtrare sau permeabilitate variază de la punct la punct.

Mişcarea în mediul poros este descrisă prin intermediul vitezei de filtraţie, definită ca volum maxim de fluid ce trece în unitatea de timp prin unitatea de suprafaţă a mediului poros. Rezultă deci că prin mediul poros se consideră că circulă un fluid fictiv, ce reprezintă o medie a proprietăţilor. Acest fluid este denumit fluid de filtraţie.

În acest fel, neţinîndu-se cont de detalii ale curgerii, abordarea problemei se simplifică. În calculele prezentate, se consideră că fluidul este incompresibil.

Pentru mediul poros omogen, mişcarea se determină dintr-un sistem de ecuaţii format din legea lui Darcy şi ecuaţia de continuitate:

$$\begin{cases} \vec{v} = -\dfrac{k}{\rho g} \operatorname{grad} p \\ \operatorname{div} \vec{v} = 0 \end{cases} \tag{3.132}$$

Deoarece în acest caz coeficientul de filtraţie k este constant, se face notaţia:

$$\varphi = -\frac{kp}{\rho g} \tag{3.133}$$

şi sistemul devine: $\vec{v} = \operatorname{grad} \varphi$

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0$$

unde: φ este potenţialul vitezei de filtraţie $\vec{v}$.

Scanned with OKEN Scanner

Din acest sistem, rezultă : $\Delta\varphi = 0$, ceea ce duce la concluzia că potențialul vitezelor este o funcție armonică. Deci mișcarea în poros este determinată de o funcție armonică.

În cazul deplasării într-un plan, funcția de curent ψ este definită de relațiile :

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \tag{3.135}$$

Potențialul vitezelor φ și funcția de curent ψ vor satisface condițiile :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \tag{3.136}$$

Se poate introduce deci o funcție monogenă :

$$f(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y), \tag{3.137}$$

unde : $f(z)$ este potențialul complex al mișcării ;

$$z = x + iy.$$

O dată determinat potențialul complex, se poate afla viteza complexă :

$$\omega(z) = \frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}z} \tag{3.138}$$

și, din relația (3.133), rezultă presiunea.

Întrucît, pentru Q = constant, viteza și presiunea sînt suficiente pentru descrierea mișcării în mediul poros, problema este complet rezolvată.

Un mediu poros pe porțiuni este un domeniu $D = \sum_{i=1}^{n} D_i$ și, pentru orice D_i, $k = k_i$ = constant ($i = 1, \ldots, n$), urmează că, pentru

fiecare subdomeniu (D_i), unde $i = 1 \ldots n$, se determină soluția sistemului:

$$\vec{v}_i = \text{grad } \varphi_i$$
$$\text{div } \vec{v}_i = 0. \tag{3.139}$$

În acest caz:
$$\varphi_i = -\frac{k_i p_i}{\rho g}. \tag{3.140}$$

Rezultă deci că, pentru fiecare domeniu D_i, trebuie să se determine o funcție armonică φ_i sau un potențial complex $f(z)$ de forma (3.137) în cazul plan.

Mișcarea pe întreg domeniul D este complet determinată prin impunerea condițiilor de racordare adecvate pe frontierele de separare.

În cazul mediului poros neomogen, coeficientul de filtrație k variază punctual.

Dacă se notează: $h = \frac{p}{\rho g}$,

atunci sistemul din care se determină mișcarea va fi format din ecuația

$$\vec{v} = k(M) \text{ grad } h, \tag{3.141}$$

unde $M \in D$, și, din ecuația de continuitate,

$$\text{div } [k(M) \text{ grad } h(M)] = 0. \tag{3.142}$$

Față de sistemul $Oxyz$, ecuația de continuitate devine:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[k \frac{\partial h}{x}\right] + \frac{\partial}{y}\left[k \frac{\partial h}{y}\right] + \frac{\partial}{z}\left[k \frac{\partial h}{z}\right] = 0$$

sau
$$k\Delta h + \text{grad } k \text{ grad } h = 0; \tag{3.143}$$

considerînd transformarea: $G(x, y, z) = h(x, y, z)\, k^{1/2}(x, y, z)$, (3.144)

ecuația (3.143) devine:
$$\sqrt{k}\Delta G - G\Delta\sqrt{k} = 0, \tag{3.145}$$

sau
$$\Delta G + a^2 G = 0. \tag{4.146}$$

Relația (3.146) evidențiază două clase de medii neomogene de tipul III:

— $a \neq 0$, pentru medii Helmholtz neomogene;

— $a = 0$, pentru medii „armonic neomogene".

Pentru acest ultim caz: $G = 0$

În acest fel, determinarea mișcării devine o problemă de rezolvarea unor condiții la limită pentru funcții armonice.

Condițiile la limită se determină, atît pentru frontiera domeniului poros însuși, cît și pentru frontiera între două medii omogene diferite.

Scanned with OKEN Scanner

4.

Metode și mijloace
de măsurare a gradului de impurificare a mediilor fluide

4.1. Considerații generale asupra măsurării gradului de impurificare a mediilor fluide

Impurifianții prezenți în mediile fluide pot fi : sub formă solidă sau gazoasă în mediile lichide; sub formă solidă sau lichidă în aer.

Particulele solide din mediile fluide pot fi de natură organică sau anorganică.

În cadrul unui „Atlas al particulelor" [15], acestea au fost clasificate funcție de : transparență, culoare (transmisă) ; culoare (reflectată) ; izotropie ; indice de refracție ; formă.

Clasificarea s-a făcut într-un sistem binar, prezența uneia dintre caracteristicile de mai sus este reprezentată prin „0", iar absența prin „1". În acest fel, o particulă sau un grup de particule sînt reprezentate prin 6 indici. Aceasta permite notarea particulelor în cazul în care se face un număr foarte mare de măsurători, în vederea diagnosticării defecțiunilor unei instalații pe baza analizei impurifiantului prezent în mediul hidraulic.

Pentru măsurătorile curente, cantitatea de impurități solide din mediul hidraulic poate fi apreciată din două puncte de vedere : din punct de vedere al greutății particulelor de impurifiant; din punct de vedere al numărului de particule ce se încadrează într-un interval de dimensiuni.

Ambele aprecieri se raportează la o anumită cantitate de fluid.

Scanned with OKEN Scanner

Greutatea particulei sau a grupului de particule nu prezintă dificultăţi din punct de vedere al definirii lor. Acelaşi lucru se poate spune şi despre volumul de fluid. La obţinerea numărului total de particule pe un anumit domeniu de dimensiuni, trebuie pusă în discuţie noţiunea de dimensiune a particulei de impurifiant. Dacă toate particulele ar avea o formă unificată, această problemă nu ar comporta discuţii.

Dimensiunea este acea mărime caracteristică a particulei, care este considerată ca fiind cea mai importantă pentru observator sau care este utilizată în medoda de măsurare respectivă. Cîteva dintre cele mai utilizate sînt: lungimea, lăţimea şi diametrul mediu. Diametrul mediu, uzual, nu se determină pe bază de măsurători directe, ci prin intermediul unor alte mărimi măsurate. De exemplu: volum, arie proiectată, lungime în lungul axei de orientare etc. În cazul în care particulele impurifiante sînt sfere, toate metodele dau aceeaşi dimensiune. Dimensiunea „lungime" este cea mai des utilizată, mai ales datorită faptului că aceasta se pretează foarte bine la măsurătorile microscopice. Dezavantajul constă în faptul că nu poate fi folosită în măsurătorile automate sau semiautomate.

Dimensiunea particulei trebuie să fie astfel definită încît:

a) să fie semnificativă pentru sistemul folosit;

b) să permită stabilirea unor limite de control;

c) să permită efectuarea unor măsurători precise.

O metodă tot mai des utilizată pentru stabilirea unei dimensiuni a particulei este de a se echivala cu volumul unei sfere. Diametrul acestei sfere este dimensiunea asociată particulei.

Numărul de dimensiuni ale particulelor este foarte mare, astfel că este necesară gruparea lor pe domenii de dimensiuni. Există multe standarde şi norme care grupează aceste dimensiuni pe anumite clase de precizie. Acestea vor fi reprezentate mai detaliat în cadrul §4. 3.

O grupă separată de particule o constituie fibrele. La acestea, raportul dintre lungime şi celelalte dimensiuni este de cel puţin 10 : 1. Această grupă de particule este destul de greu de depistat, ca atare, ea putînd fi pusă în evidenţă doar printr-o analiză microscopică.

Aprecierea dimensiunii particulelor trebuie făcută cu foarte mult discernămînt. Se vorbeşte la ora actuală destul de des şi de multe ori, cu multă uşurinţă, de filtrări ale mediilor hidraulice de pînă la 10 μm. Pentru a ne da seama ce reprezintă o particulă de 10 μm, trebuie spus că 1 cm³ are aproximativ 1 miliard de particule de 10 μm. Pentru a putea fi numărate în ritm de 1 particulă pe secundă timp de 24 ore de pe zi, ar fi necesari aproximativ 125 de ani.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru analiza gradului de impurificare a unui sistem hidraulic, este necesar a fi parcurse următoarele etape : prelevarea eșantioanelor ; efectuarea măsurătorilor ; interpretarea rezultatelor.

4.2. Tehnica prelevării eșantioanelor

În analiza gradului de impurificare al mediului hidraulic, deosebit de importantă este alegerea punctelor din sistem în care se face măsurătoarea. Este cunoscut faptul că, printre elementele ce alcătuiesc sistemul hidraulic, există unele puternic poluante, cum ar fi pompele ce poluează sistemul cu particule solide sau etanșările mobile care îl poluează cu particule de elastomeri. Alte elemente, de tipul servovalvelor sau elementelor proporționale, sînt sensibile la impurifianți, pe cînd acumulatoarele, de exemplu, „adună" o cantitate mare de impurifianți pe care o trimit brusc în sistem în momentul descărcării.

Rezultă deci că, în funcție de locul de la care se face prelevarea eșantioanelor, gradul de impurificare obținut poate fi diferit. De aceea, în cazul în care este necesară o apreciere strictă a gradului de impurificare a uleiului din sistem, se face măsurătoarea „în linie", adică fără a preleva eșantioane, ci prin trecerea întregului fluid din sistem prin numărătorul automat de particule. Această metodă nu se aplică la sistemele industriale, ci numai la sistemele hidraulice ale rachetelor.

Pentru sistemele industriale, de obicei eșantioanele sînt prelevate de pe conducta de presiune, imediat înaintea celui mai sensibil element hidraulic.

În prelevarea eșantioanelor trebuie avute în vedere cele două condiții (stări) ale fluidului din sistemul hidraulic. Cele două stări sînt : statică și dinamică.

În primul caz, fluidul se află depus în rezervoare, recipiente, containere. La prelevarea eșantioanelor, trebuie să se țină cont de faptul că particulele se depun pe fund sau pe peretele rezervorului. Pentru obținerea unei probe semnificative, este necesară o agitare prealabilă a fluidului. O atenție deosebită trebuie acordată necesității prevenirii impurificării în timpul deschiderii rezervorului și umplerii recipientului de prelevare.

Scanned with OKEN Scanner

În al doilea caz, eşantionul este prelevat din punctele critice ale sistemului în timpul funcţionării. Există două metode pentru prelevarea eşantioanelor în regim dinamic :

— metoda izocinetică, care se aplică la curgerea în regim laminar. La această metodă trebuie ţinut cont de faptul că, în general, particulele deformabile se deplasează de-a lungul pereţilor conductei, în timp ce particulele nedeformabile se deplasează de-a lungul axei ;

— metoda neizocinetică (care se aplică atunci cînd curgerea fluidului este turbulentă). Viteza mare a particulelor face ca acestea să urmeze traiectorii dezordonate.

Avînd în vedere acea separare a particulelor în cazul curgerii laminare, se urmăreşte ca, la prelevarea eşantioanelor, să se provoace o turbulenţă locală, care să permită „amestecarea" particulelor deformabile cu cele nedeformabile pentru a se preleva eşantioane reprezentative.

Un dispozitiv de prelevare a eşantioanelor de fluid trebuie să îndeplinească următoarele condiţii :

— să provoace o turbulenţă locală ;
— să ducă la creşterea căderii de presiune ;
— să nu introducă sau să reţină impurifianţi ;
— să nu afecteze siguranţa în funcţionare a sistemului hidraulic.

Eficienţa eşantionării poate fi defintă ast fel :

$$E = \frac{c}{c_0} = \frac{\text{concentraţia de impurifiant în eşantion}}{\text{concentraţia de impurifiant în conductă}}. \quad (4.1)$$

Aceasta depinde, atît de raportul :

$$V_R = \frac{v}{v_0} = \frac{\text{viteza fluidului în dispozitivul de prelevare}}{\text{viteza fluidului în conductă}}, \quad (4.2)$$

cît şi de raportul :

$$K_L = \frac{D}{d} = \frac{\text{diametrul dispozitivului de prelevare}}{\text{diametrul maxim al particulei de impurifiant}}. \quad 4.3)$$

În fig. 4.1, sînt prezentate cîteva soluţii de prelevare a eşantioanelor.

Pentru varianta prezentată în fig. 4.1, *d*, în fig. 4.2 este arătată variaţia eficienţei de prelevare a eşantioanelor, funcţie de diverse valori ale raportului K_L la mărimi diferite ale lui V_R. Curbele au fost trasate experimental în cadrul laboratoareleor Universităţii Loughborough din Anglia [1]

Experienţa în prelevarea eşantioanelor arată că rezultatele prelevării la 210 bar diferă de cele efectuate la 3,5 bar, deşi nivelul de impurificare rămîne constant. Această diferenţă apare datorită

orificiului foarte mic de prelevare a eșantioanelor și aparțin fenomenelor de eroziune și de cavitație. În scopul eliminării acestor neajunsuri, dispozitivele de prelevare a eșantioanelor au un restrictor, al cărui

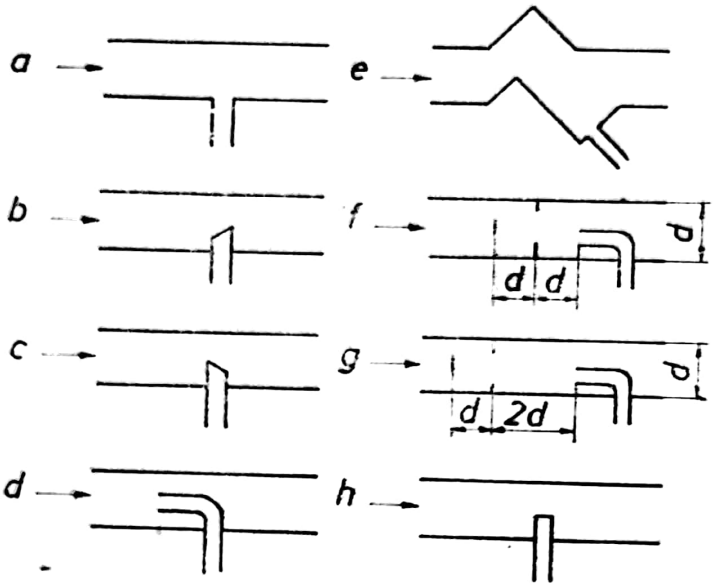


Fig. 4.1. Diverse soluții de dispozitive de prelevare a eșantioanelor.

efect face ca viteza fluidului să scadă, iar căderea de presiune să crească.

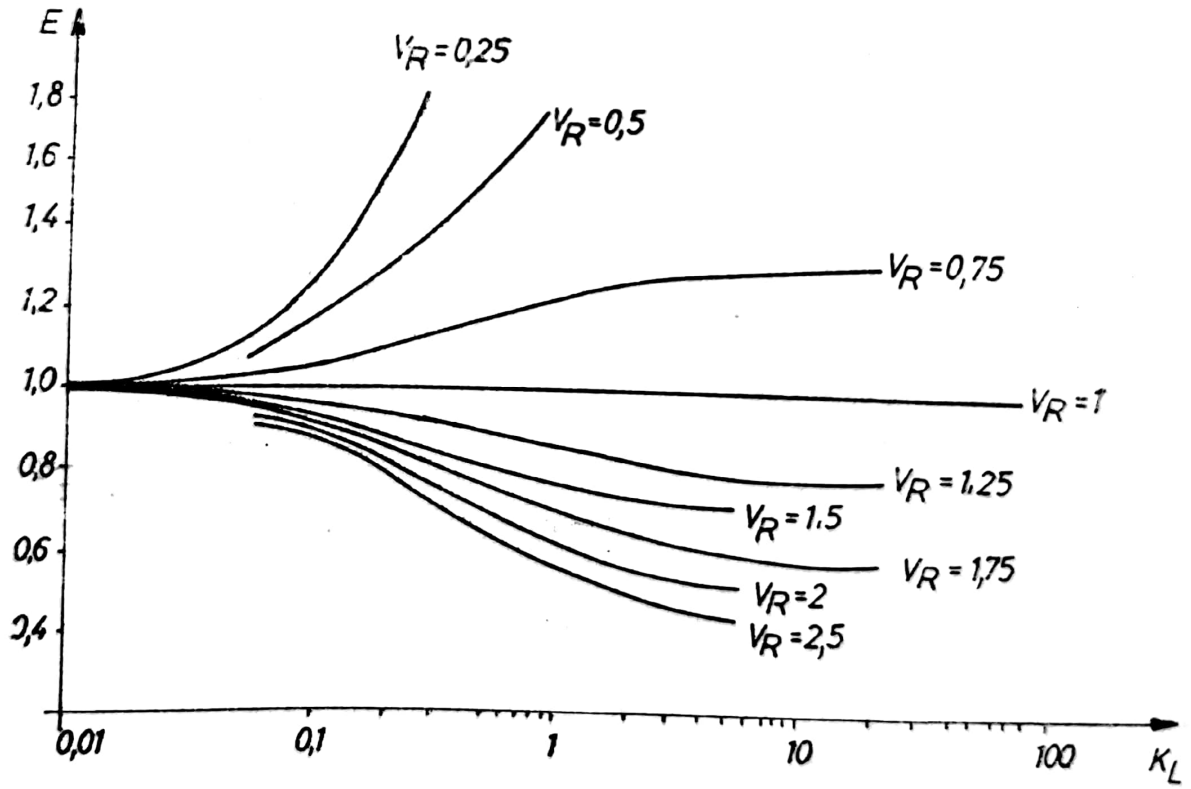


Fig. 4.2. Variația eficienței de prelevare a eșantioanelor.

În fig. 4.3, sînt prezentate două din astfel de dispozitive de prelevare a eșantioanelor, de fapt niște supape speciale.

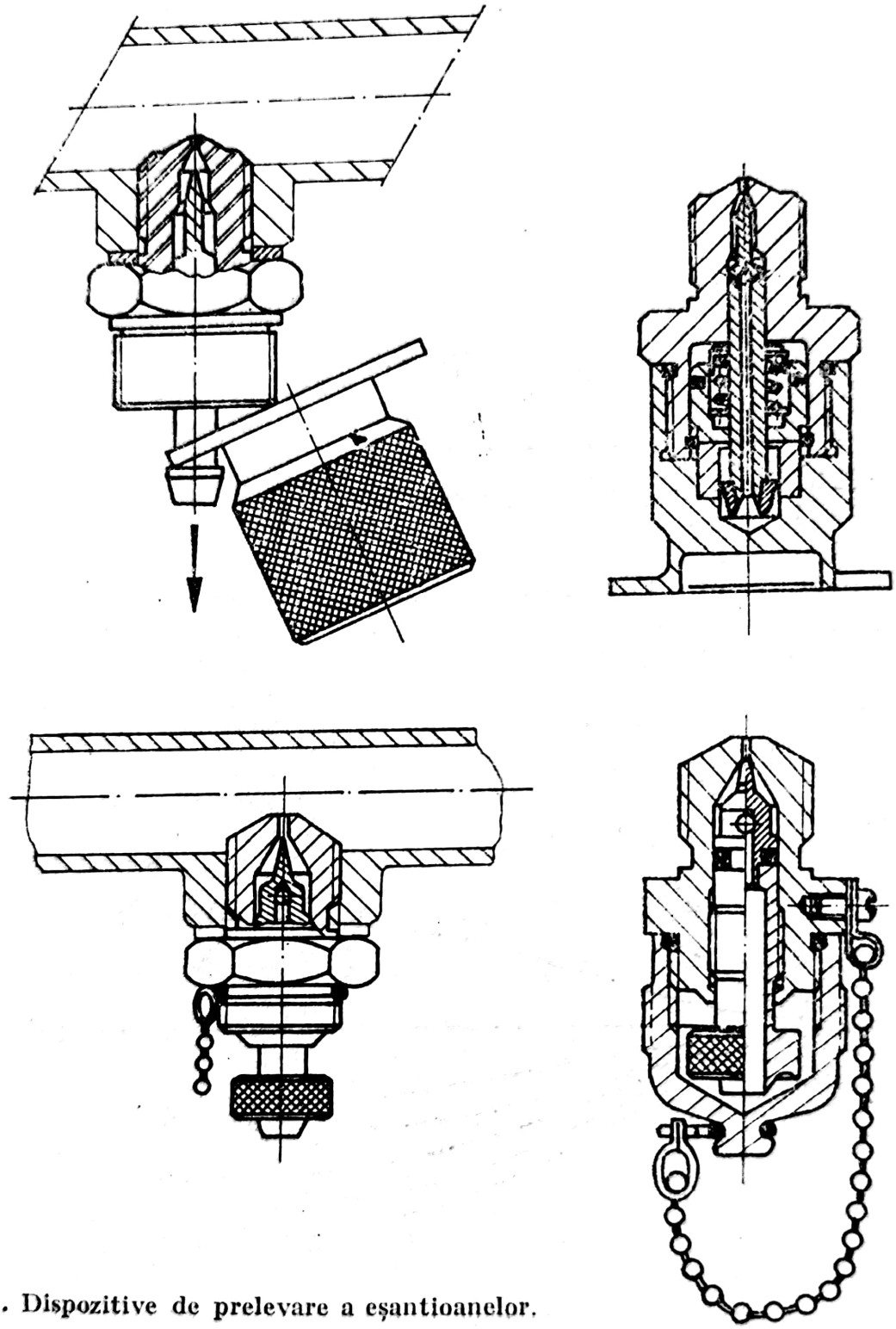


Fig. 4.3. Dispozitive de prelevare a eșantioanelor.

Pentru ca eșantionul să nu fie alterat de impurificarea secundară probele nu se vor lua imediat după deschiderea supapei. Se va lăsa

Scanned with OKEN Scanner

să curgă prin supapă o cantitate de fluid egală cu 0,5—1 l pentru a-l spăla.

Vasele de prelevare a eşantioanelor sînt făcute dintr-o sticlă specială ce nu permite aderarea particulelor la pereţii ei. Se folosesc vase cu capac filetat. Capacul se va deşuruba şi se va ţine în mînă fără a atinge cu nimic suprafeţele interioare. După deschiderea sticlei, aceasta se va introduce imediat sub jetul de fluid. Se va colecta cantitatea necesară, de obicei 100 ml $\pm$ 10 ml şi, imediat după aceasta, aplicîndu-se o folie de plastic curat pe gura sticlei, se va înşuruba capacul. Abia după efectuarea tuturor acestor operaţii, se va închide supapa de prelevare a eşantioanelor. Atît supapa cît şi sticlele de prelevare nu se vor spăla sau şterge cu cîrpe, hîrtie, bumbac sau alte materiale asemănătoare, care ar putea conduce la impurificarea secundară cu fibre.

La aprecierea nivelului de impurificare a unui fluid, de o importanţă deosebită este cantitatea de fluid prelevat (dimensiunea eşantionului). Cei mai mulţi autori recomandă ca această dimensiune să fie de 100 ml. În unele cazuri, se poate preleva însă o cantitate mai mare sau mai mică. O cantitate mică se ia cînd întreaga cantitate de fluid din sistemul hidraulic este mică. Cantităţi mai mari se iau dacă fluidul din sistem este deosebit de curat şi există posibilitatea impurificării lui în timpul prelevării.

Numărul de particule impurifiante care apar accidental în sistem în timpul prelevării sau măsurării eşantioanelor de fluid este practic nesemnificativ în cazul sistemelor cu număr foarte mare de particule. Însă, în cazul sistemelor cu număr mic de particule, apariţia accidentală a unor particule devine importantă.

Tehnica prelevării eşantioanelor este descrisă, de altfel, şi în unele standarde internaţionale (ISO 3722, ISO 4021 sau ANSI B93.20—1972).

În funcţie de precizia dorită şi de mijloacele tehnice care sînt la îndemîna laboratorului în care se fac măsurătorile, se poate aplica una din metodele de mai jos pentru determinarea gradului de impurificare a uleiului:

— numărarea particulelor prin metoda microscopică;
— numărarea automată a particulelor;
— analiza gravimetrică;
— aprecierea gradului de impurificare prin comparaţia culorilor;
— determinarea indicelui de colmatare.

Scanned with OKEN Scanner

4.3. Numărarea particulelor prin metoda microscopică

Această metodă este considerată ca fiind cea mai precisă în aprecierea distribuţiei dimensionale a particulelor dintr-un eşantion de fluid. Procedura permite măsurarea impurificării cu particule de 5 microni sau mai mari cu o toleranţă maximă de ± 20% la o medie de două probe. Metoda, în esenţă, se bazează pe numărarea la microscop a particulelor ce se depun pe o membrană filtrantă calibrată [37] [54].

Pînă la numărarea propriu-zisă a particulelor la microscop, metoda presupune efectuarea unor operaţii preliminare adesea destul de greoaie, care cer dexteritate şi atenţie din partea operatorului. Îndeplinirea exactă a tuturor indicaţiilor este esenţială în realizarea preciziei operaţiilor.

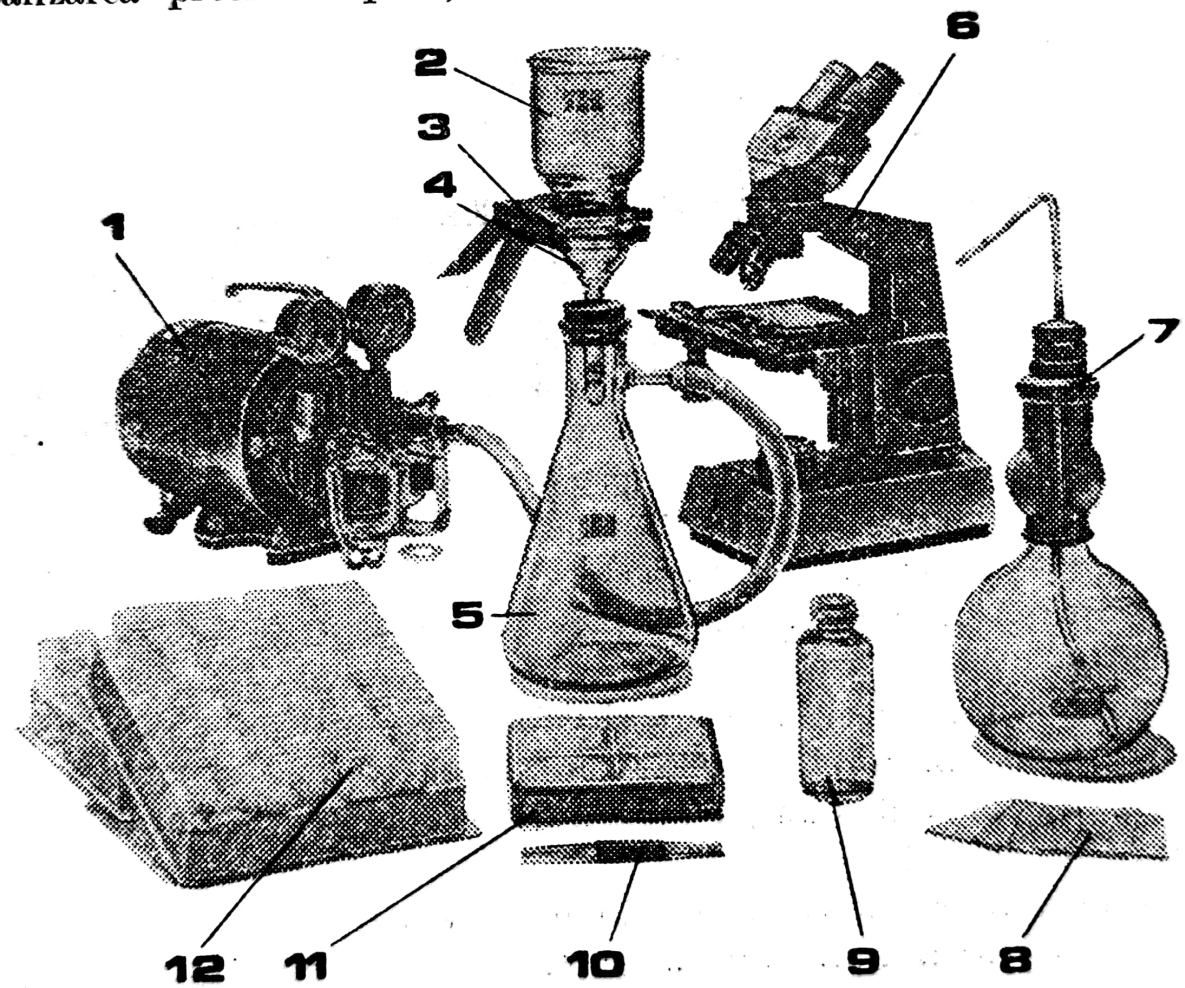


Fig. 4.4. Set de aparate pentru numărarea particulelor prin metoda microscopică: *1* — compresor pentru vacuum; *2* — pîlnie; *3* — clemă; *4* — suport membrană filtrantă; *5* — vas pentru vacuum; *6* — microscop binocular; *7* — vas cu solvent filtrat; *8* — lame de sticlă; *9* — vas pentru prelevarea eşantioanelor; *10* — pensetă; *11* — membrane filtrante; *12* — capsule Petri.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru efectuarea măsurătorilor, sînt necesare aparatele şi materialele prezentate în fig. 4.4.

Succesiunea operaţiilor este prezentată în fig. 4.5.

Cu ajutorul pensetei (fig. 4.4, poz. *10*), se alege din cutia cu membrane (fig. 4.4, poz. *11*) o membrană filtrantă cu mărimea porului mai mică de 1 micron. De obicei aceste membrane au un diametru de 25,4 mm sau 36 mm. Suprafaţa are un caroiaj cu dimensiunile de 3,10 ± 0,02 mm. Culoarea trebuie aleasă în aşa fel încît să se realizeze un contrast maxim cu particulele de impurifiant. Membrana este spălată (fig. 4.5, *a*) cu solvent prefiltrat dintr-un vas de sticlă (fig. 4.4, poz. *7*). Ca solvent se alege alcool izopropilic, acetonă simplă, benzină grea sau orice alt solvent care să fie compatibil cu filtrul

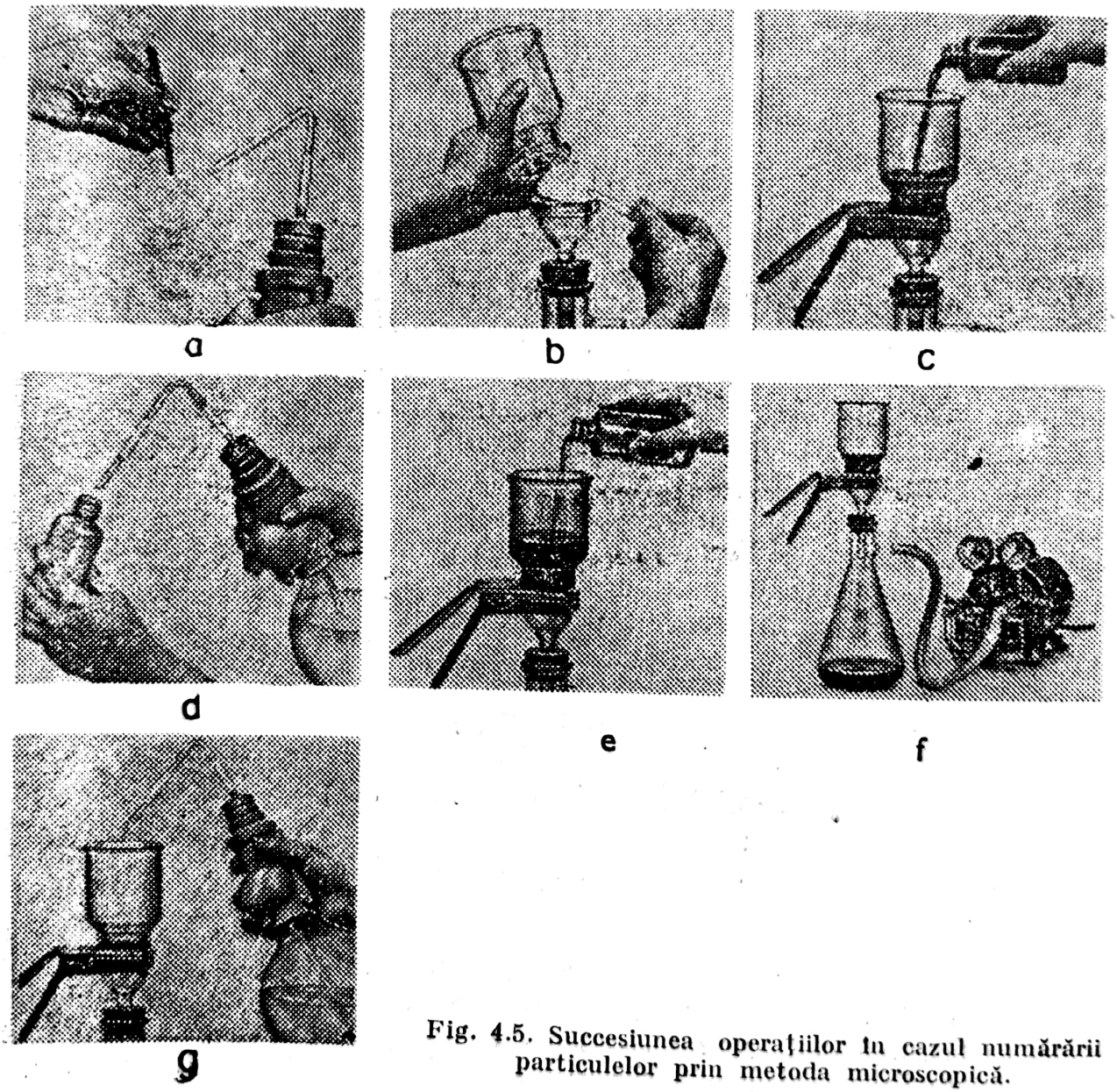


Fig. 4.5. Succesiunea operaţiilor în cazul numărării particulelor prin metoda microscopică.

Scanned with OKEN Scanner

membrană. Filtrarea solvenţilor se face cu ajutorul unei membrane cu finețea de filtrare de 1 micron.

Membrana filtrantă este așezată în suportul ei (fig. 4.4, poz. *4*) pe un ecran de sticlă sinterizată, metal sinterizat sau sită din oțel inoxidabil. Deasupra suportului (fig. 4.5, *b*), se așază o pîlnie de sticlă (fig. 4.4, poz. *2*) ce se prinde de suportul membranei cu ajutorul unei cleme speciale (fig. 4.4, poz. *3*). Eșantionul de fluid prelevat într-un vas cu capac filetat (fig. 4.4, poz. *9*) este turnat în pîlnie (fig. 4.5, *c*). De obicei, se prelevează o cantitate de 100 ± 10 ml de fluid, cu excepţia următoarelor cazuri: cînd numărul particulelor din acest volum este mai mare decît 100 000 sau mai mic de 500. Pentru numere mai mari de 100 000, se alege un volum mic de fluid, pentru a se permite diferenţierea particulelor pe clase de dimensiuni. Pentru un număr mai mic de 500 de particule se va alege un eșantion de 200 ml.

După ce s-a turnat întreaga cantitate de fluid, se curăţă cu solvent vasul de prelevare (fig. 4.5, *d*) și se agită pentru a putea fi prelevate și particulele eventual depuse pe pereţii vasului. Conţinutul este turnat în pîlnia de sticlă (fig. 4. 5, *e*). Vasul pentru vacuum (fig. 4.4, poz. *5*) este legat printr-un tub flexibil la un compresor pentru vacuum (fig. 4. 4., poz. *1*). Acesta va trebui să facă în vas un vid de minimum 457 mm col. Hg adică 0,6 bar (fig. 4. 5,*f*). Întreaga cantitate de fluid trece prin membrana filtrantă din pîlnie în vasul pentru vacuum. Pentru antrenarea tuturor particulelor depuse pe pereţii pîlniei, aceasta este spălată cu solvent filtrat (fig. 4. 5, *g*). Operaţia de trecere a lichidului prin membrană este terminată atunci cînd membrana rămîne complet uscată.

Membrana este preluată și depusă pe o lamă de sticlă (fig. 4.4, poz. *8*) și cu această lamă este trecută pe masa microscopului binocular (fig. 4. 4, poz. 6) pentru a se număra particulele.

În cazul în care numărarea pe microscop nu se face imediat, membrana este depusă într-o capsulă Petri (fig. 4. 4, poz. *12*) pe care s-a marcat numărul probei.

În cazul numărării particulelor la microscop, trebuie respectate următoarele reguli:

— mărimea particulei trebuie determinată prin măsurarea celei mai mari dimensiuni;

— seria de mărimi trebuie să fie după cum urmează: 5 la 15 microni 15 la 25 microni, 25 la 50 microni, 50 la 100 microni, peste 100 de microni și fibre;

— se examinează membrana pentru a se determina dacă particulele au o distribuţie întîmplătoare. Dacă pe membrană apare evidenţa unei distribuţii neuniforme sau inele de concentraţii de particule mai grele în jurul marginii exterioare a suprafeţei de filtrare, procedura

Scanned with OKEN Scanner

de numărare statistică nu mai trebuie folosită. Se reia de la început întreaga procedură, folosindu-se un alt eșantion de fluid;

— dacă numărul de particule de o dimensiune dată, într-un careu, este între 1 și 50, se numără toate particulele de pe întreaga rețea (100 de careuri);

— dacă numărul de particule dintr-un careu este între 50 și 1 000, se numără numai particulele de pe 20 de careuri și se înmulțește valoarea dată cu 5 pentru a se obține valoarea statistică totală;

— dacă numărul de particule de aceeași dimensiune dintr-un careu depășește cifra de 1 000, se aleg 10 careuri reprezentative, iar valoarea obținută se înmulțește cu 10;

— dacă o particulă se află pe linia superioară sau pe linia din stînga suprafeței în care se face numărătoarea, această particulă se înregistrează;

— dacă particula se află pe linia inferioară sau pe linia din dreapta suprafeței în care se face numărătoarea, această particulă nu se înregistrează.

Numărul total de particule pentru fiecare dimensiune se află folosind formula:

$$\text{Numărul total} = \frac{A}{N_s \times S_u} \times N_u, \qquad (4.4)$$

unde: A este suprafața de filtrare a membranei (pentru diametrul de 35 mm este de 960 mm²);

N_s — numărul de suprafețe unitare pe care s-au făcut măsurători;

S_u — suprafața unitară (mm²);

N_u — numărul de particule pe suprafețele unitare.

După cum se poate vedea, această metodă este deosebit de laborioasă și ea presupune folosirea de personal calificat, antrenat pentru astfel de numărători. Se consideră că o numărătoare este bine făcută atunci cînd eroarea operatorului nu depășește $\pm 10\%$.

Această metodă se aplică în situațiile în care este necesară o precizie ridicată a măsurătorilor.

4.4. Numărarea automată a particulelor

Această metodă presupune utilizarea unor aparate specializate pentru numărarea particulelor. Există o serie de firme specializate

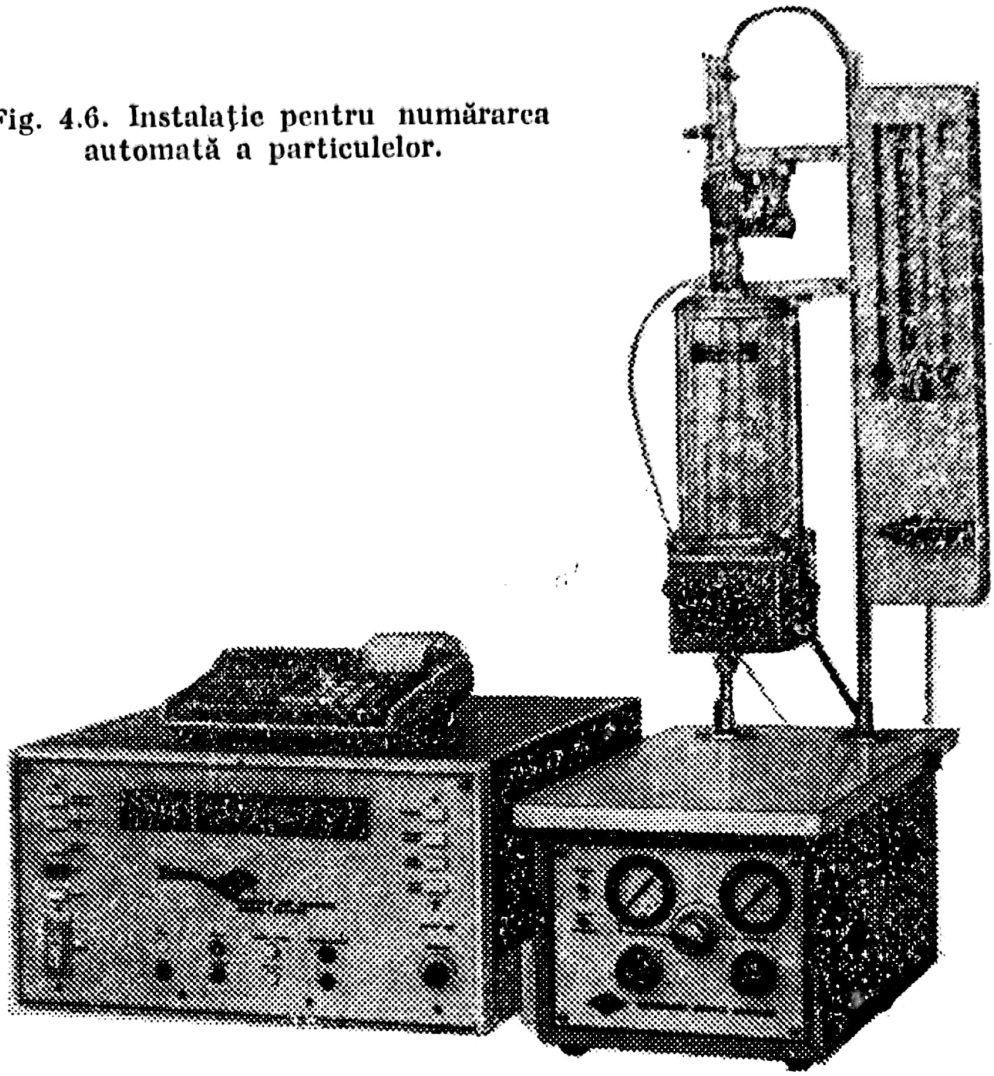


Fig. 4.6. Instalaţie pentru numărarea automată a particulelor.

în producerea de astfel de aparate, ca de exemplu HIAC, CULTER sau ROYCO. În fig. 4.6 este prezentat un aparat al firmei HIAC.

Eşantionul de fluid este aşezat pe un suport şi închis etanş într-un cilindru transparent. Pentru eliminarea aerului dizolvat în fluid, în cilindru este produs vacuum, care duce la extragerea aerului din eşantion. După ce s-a extras tot aerul, în cilindru este crescută presiunea pînă la aproximativ 3—4 bar. În felul acesta fluidul este obligat ca, printr-un tub imersat în el, să treacă printr-un sesizor cu celulă fotoelectrică. Trecerea particulelor prin dreptul celulei produce o variaţie a intensităţii curentului electric proporţională cu mărimea particulei. Această variaţie este înregistrată într-un aparat electronic dotat cu un minicalculator, încadrată într-o anumită clasă de dimensiuni, numărată şi afişată pe un ecran sau înregistrată automat pe un inscriptor.

În final acest aparat permite obţinerea numărului total de particule pe şase sau douăsprezece domenii de dimensiuni.

Scanned with OKEN Scanner

Aparatul HIAC permite numărarea particulelor pe domenii de dimensiuni nu numai dintr-un eşantion prelevat dintr-o instalaţie hidraulică, ci şi direct pe conducta instalaţiei. De această dată se poate obţine numărul total de particule, pe domenii de dimensiuni, ce trec într-o anumită perioadă de timp prin conductă. Acest tip de măsurare „in line" permite urmărirea continuă, în timpul experimentărilor, a gradului de impurificare al mediului hidraulic. Dezavantajul acestui aparat, ca de altfel al tuturor aparatelor care permit numărarea automată a particulelor, constă în faptul că sesizoarele nu pot discerne particulele solide de bulele de aer, înregistrîndu-le pe acestea din urmă tot ca particule. De aceea, este necesar ca, în cazul numărării particulelor din eşantioane prelevate, să se facă în prealabil o cît mai eficientă extragere a aerului din eşantion.

Eroarea admisă în cadrul numărării automate a particulelor este de $\pm 15\%$. Pentru păstrarea erorii în aceste limite admisibile, este necesară calibrarea periodică a aparatului. Aceasta se face în conformitate cu prescripţiile producătorului. Metoda de calibrare a fost de fapt şi statuată prin standarde internaţionale (ISO 4 402 sau ANSI B93. 28—1973). Potrivit acestor standarde, calibrarea se face cu particule ACFTD (Air Cleaner Fine Test Dust). Acestea derivă dintr-un nisip de Arizona. Distribuţia granulometrică a acestor particule este prezentată în fig. 4.7. Analiza chimică a acestor particule cuprinde : SiO_2 — 68,47 %, Fe_2O — 4,58 %, Al_2O_3 — 15,98 %, MgO — 0,77 %, CaO — 2,91 %, Na_2O — 4,61 % şi alte substanţe — 2,68%. De altfel, aceste particule sînt folosite şi în cazul impurificării artificiale a mediului fluid în timpul experimentărilor.

Metoda numărării automate a particulelor asigură o bună productivitate. Costul foarte ridicat al aparaturii nu permite însă aplicarea acestei metode la scară industrială.

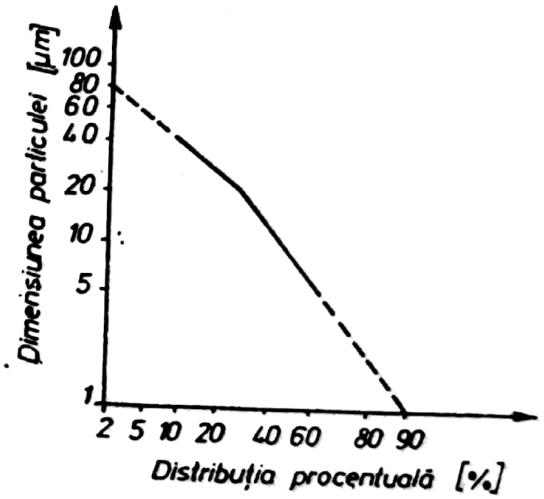


Fig. 4.7. Distribuţia granulometrică a particulelor ACFTD.

4.5. Metoda comparaţiei

S-a observat că o membrană filtrantă, prin care a fost trecut un eşantion de fluid, rămîne, după uscarea ei în etuvă, cu o culoare ce

este cu atît mai închisă cu cît cantitatea de impurifianți din sistemul hidraulic este mai mare. Plecînd de la această observație, au fost stabilite membrane etalon, funcție de gradul de impurificare a uleiului. Prin comparația dintre membrana testată cu etalonul, se poate aprecia clasa de precizie în care se încadrează eșantionul prelevat [49].

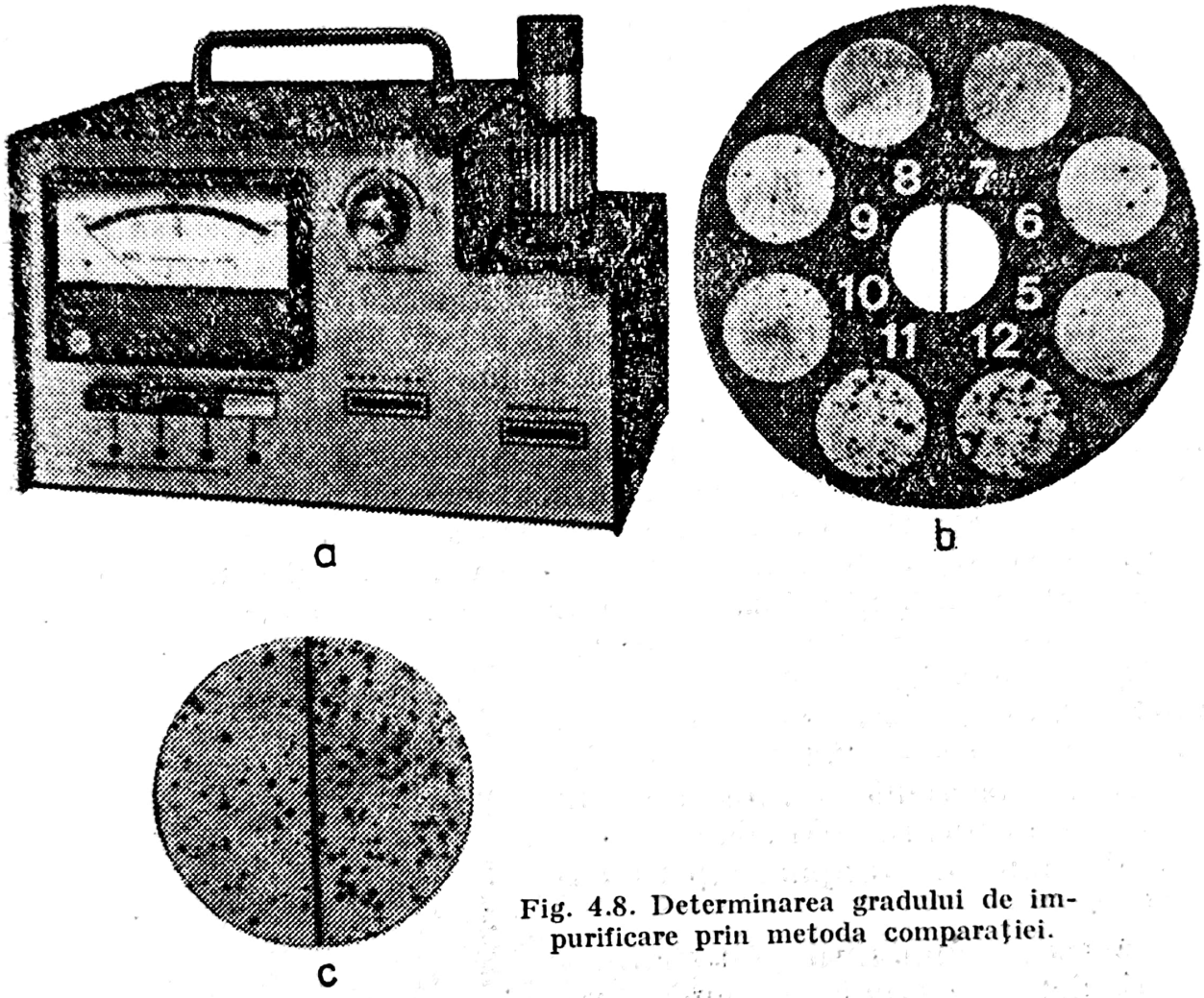


Fig. 4.8. Determinarea gradului de impurificare prin metoda comparației.

Pentru o rapidă analiză, există firme care au făcut aparate speciale pentru determinarea gradului de impurificare prin metoda comparației (fig. 4. 8, *a*).

În imaginea circulară ce se poate vedea în ocularul aparatului (fig. 4. 8, *c*), apare într-un semicerc membrana etalon, selectată dintr-o gamă dată pe clase de precizie (fig. 4. 8. *b*), iar în celălalt semicerc — membrana supusă probei.

Această metodă permite o analiză foarte rapidă, în condiții industriale, a unei membrane filtrante. Pentru prelevarea rapidă a eșantioanelor, se pot folosi truse de prelevare a eșantioanelor, ca cea pre-

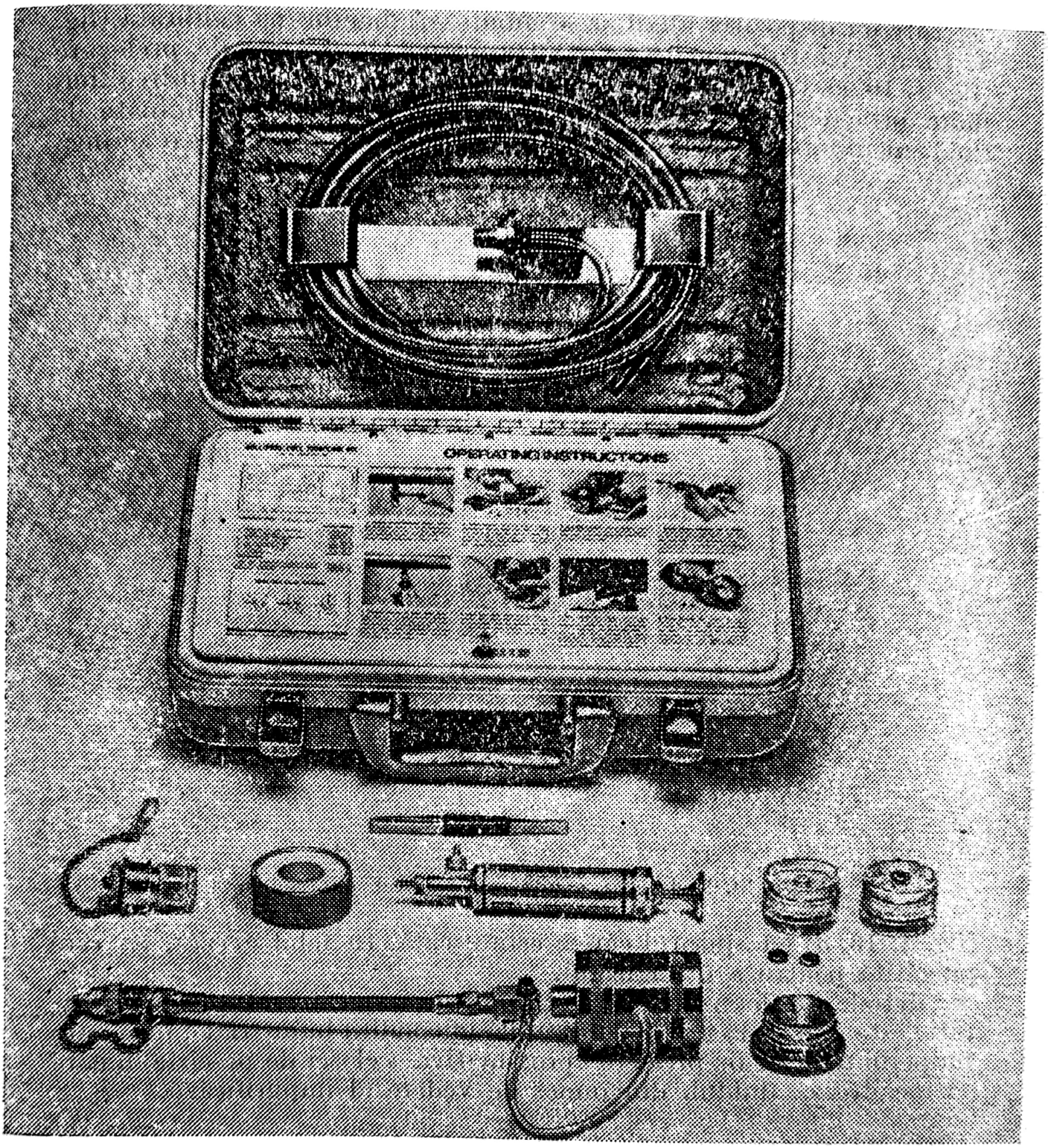


Fig. 4.9. Trusă de prelevare a eșantioanelor.

zentată în fig. 4.9. Aceasta permite prelevarea eșantioanelor de fluid direct din conductă. Pentru aceasta, supapa de prelevare a eșantioanelor se montează direct pe conductă (fig. 4. 10, *a*).

Scanned with OKEN Scanner

Într-un dispozitiv auxiliar se montează membrana calibrată (fig. 4. 10, *b*). Acest dispozitiv se montează apoi pe supapa de prelevare (fig. 4. 10, *c*), care are un robinet ce permite trecerea sau oprirea fluidului prin dispozitiv. După trecerea unei cantități determinate de fluid, membrana este preluată din dispozitiv, montată pe o seringă

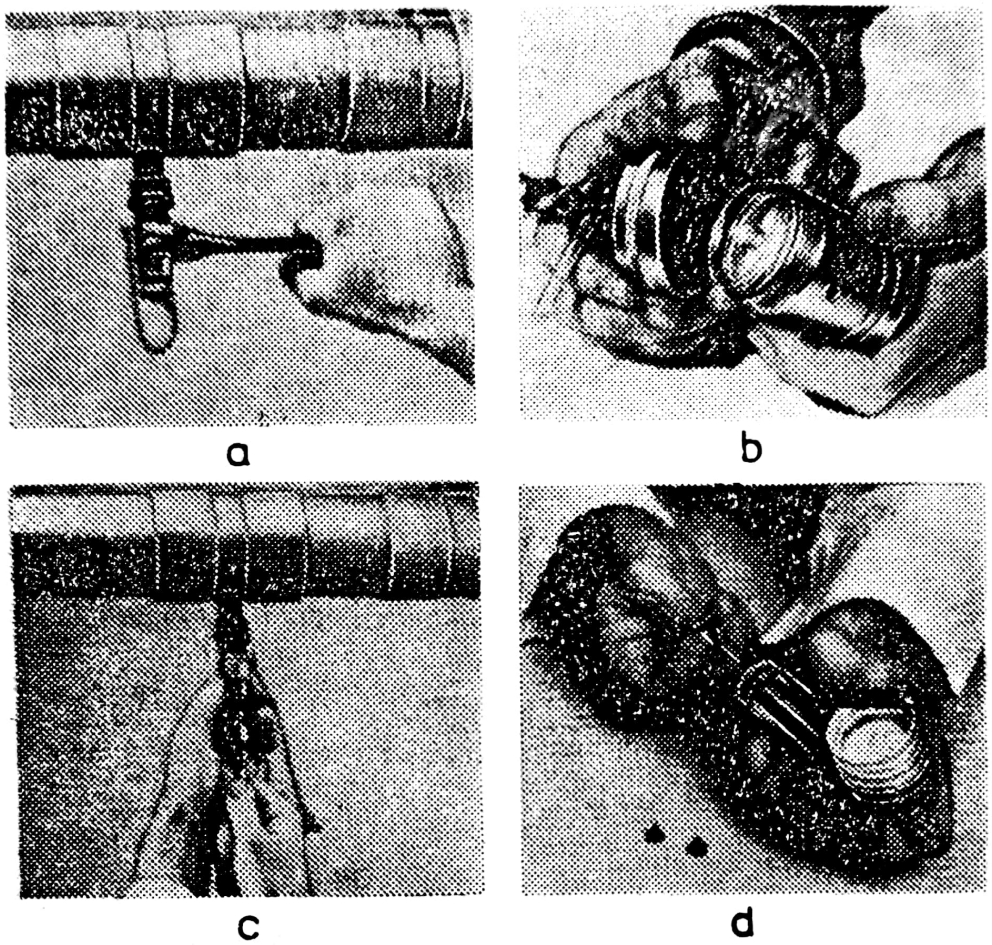


Fig. 4.10. Prelevarea eșantioanelor direct din conductă.

(fig. 4. 10, *d*) cu ajutorul căreia este uscată. În felul acesta, ea este pregătită pentru a fi analizată.

Metoda de determinare a gradului de impurificare prin comparație este o metodă rapidă, aplicabilă în condiții industriale, însă care nu permite decît o apreciere aproximativă a clasei de precizie în care se încadrează fluidul, din punct de vedere al impurificării.

4.6. Metoda gravimetrică

Analiza gradului de impurificare a uleiului prin această metodă se face utilizînd membranele filtrante și balanța analitică.

Scanned with OKEN Scanner

Analiza gravimetrică se face în două moduri : cu membrană simplă, cu membrană dublă. În primul caz, un volum de fluid impurificat este trecut printr-o membrană filtrantă precîntărită, care reţine impurifiantul. Prin cîntărirea membranei filtrante după trecerea prin ea a eşantionului analizat, se află cantitatea de impurifiant (de obicei în mg) care se găseşte în eşantionul testat. Cîntărirea se face după uscarea perfectă a membranei filtrante.

În cel de-al doilea caz, se folosesc două membrane filtrante cîntărite în prealabil. Se consideră că greutatea lor iniţială este G_1^1 şi respectiv G_1^2. După trecerea fluidului prin cele două membrane, greutatea lor devine G_2^1 respectiv G_2^2. Cantitatea de impurifiant G din eşantionul testat va fi :

$$G = (G_2^1 - G_1^1) - (G_2^2 - G_1^2). \tag{4.5}$$

Prelevarea eşantioanelor şi pregătirea membranelor pentru analiză se face printr-una din metodele descrise anterior.

Metoda gravimetrică de analiză a gradului de impurificare a unui fluid nu dă nici un fel de indicaţii asupra mărimii particulelor şi a distribuţiei lor dimensionale.

4.7. Metoda de determinare a indicelui de colmatare

Prin această metodă, un eşantion de fluid este trecut printr-un filtru cu pori calibraţi la presiune constantă. Din cauza colmatării membranei, debitul de fluid care trece prin acesta scade, astfel încît timpul necesar trecerii prin filtru a celei de a doua jumătăţi a eşantionului este mai mare decît la prima jumătate. Timpul de trecere al eşantionului printr-un filtru de porozitate cunoscută este indicele de colmatare (silting index) [46].

Este evident că particulele mari nu vor colmata filtrul. De aceea, această metodă este folosită numai pentru particule de aproximativ 5 microni sau mai puţin.

Această largă varietate de metode permite efectuarea unor măsurători, care, luate fiecare în parte, nu pot da un răspuns complet asupra nivelului şi a modului de impurificare a unui fluid. Majoritatea măsurătorilor gravimetrice sau volumetrice dau un tablou al impurificării totale, fără a da informaţii asupra dimensiunii particulelor şi fiind foarte mult influenţate de particulele mari. Indicele de colmatare dă informaţii asupra concentraţiei cu particule fine. Numărarea particulelor permite încadrarea lor în domenii de dimensiuni,

fără a da indicii asupra greutăţii sau naturii impurifiantului. Cînd este necesară o apreciere corectă, este necesară folosirea a 2—3 metode. De exemplu : îmbinarea metodei de numărare electronică a particulelor cu cele de observare vizuală ca : proiecţie pe ecran, televiziune în circuit închis etc.

Există metode moderne, foarte costisitoare, care permit vizualizarea pe un ecran a cîmpului de pe membrana filtrantă, care este cuprins în ocularul microscopului electronic. Prin indicarea cu ajutorul unui „creion" a particulei ce interesează operatorul, aparatul, dotat cu un calculator, poate indica dimensiunea particulei, perimetrul, greutatea, compoziţia chimică şi alte caracteristici fizico-chimice.

4.8. Modul de interpretare a rezultatelor

Pentru a obţine rezultate cît mai aproape de adevăr, rezultatele experimentale sînt interpretate statistic [12] prin diverse metode, funcţie de numărul lor, de modul de obţinere, de împrăştiere etc.

Interpretarea rezultatelor experimentale se face funcţie de metoda folosită pentru aprecierea purităţii lichidului filtrat.

În cazul folosirii metodelor gravimetrice, aprecierea impurificării mediului se face prin gradul de impurificare, care reprezintă cantitatea de impurifiant prezentă în 100 ml mediu fluid.

În cazul folosirii metodelor granulometrice, aprecierea impurificării mediului se face prin indicarea distribuţiei dimensionale a particulelor.

Cele două metode permit aprecierea performanţelor de filtrare ale unui mediu filtrant. Aceste performanţe sînt :

— gradul de filtrare, care reprezintă procentual o cotă parte din particulele existente în fluidul care „atacă" mediul filtrant şi este reţinută de acesta ;

— fineţea de filtrare absolută, care indică dimensiunea minimă a particulelor reţinute de mediul filtrant ;

— fineţea de filtrare relativă care indică dimensiunea minimă a particulelor reţinute în proporţie de 95—98% (procentul diferă de la un fabricant la altul) de către mediul filtrant.

Avînd în vedere eroarea însăşi a mijloacelor de măsură, este indicat să se folosească — mai rar — noţiunea de fineţe de filtrare absolută, întrucît, de obicei, aceasta nu este cea reală. Ea rămîne mai mult o performanţă „comercială" a fabricanţilor de filtre.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.1

Standardul NAS 1638/1964 privind distribuția dimensională a particulelor de impurifiant în 100 ml de fluid

Domeniul de dimensiuni [μm]	Clase de precizie													
	00	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5—15	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	32 000	64 000	128 000	256 000	512 000	1 024 000
15—25	22	44	89	178	356	712	1 425	2 850	5 700	11 400	22 800	45 600	91 200	182 400
25—50	4	8	16	32	63	126	253	506	1 012	2 025	4 050	8 100	16 200	32 400
50—100	1	2	3	4	11	22	45	90	180	360	720	1 440	2 880	5 700
peste 100	0	0	1	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1 024

Scanned with OKEN Scanner

Mediul filtrant analizat se compară din punct de vedere al distribuţiei granulometrice cu standardele internaţionale pentru a se include într-o clasă de precizie. Cel mai utilizat standard este NAS 1638/1964 (tabelul 4. 1). Acesta indică numărul maxim de particule dintr-un anumit domeniu de dimensiuni existent în 100 ml de fluid testat.

Pentru mediile hidraulice utilizate la motoarele cu ardere internă, se recomandă utilizarea standardului SAE 749 D (tabelul 4.2). Este indicat numărul de particule într-un eşantion de 100 ml.

Tabelul 4.2

Standardul SAE 749 D privind distribuţia dimensională a particulelor de impurifiant în 100 ml de fluid

Domeniul de dimensiuni [μm]	Clase de precizie						
	0	1	2	3	4	5	6
5—10	2 700	4 600	9 700	24 000	32 000	87 000	128 000
10—25	670	1 340	2 680	5 360	10 700	21 400	42 000
25—50	93	210	380	780	1 510	3 130	6 500
50—100	16	28	56	110	225	430	1 000
peste 100	1	3	5	11	21	41	92

Pentru mediile hidraulice utilizate la instalaţiile hidraulice ale navelor maritime sau fluviale, se recomandă standardul NAV AIR 10—1A—17 (tabelul 4.3). Este indicat numărul de particule într-un eşantion de 100 ml.

Tabelul 4.3

Standardul NAV AIR 10-1A-17 privind distribuţia dimensională a particulelor în 100 ml de fluid

Domeniul de dimensiuni [μm]	Clase de precizie						
	0	1	2	3	4	5	6
5—10	2 700	4 600	9 700	24 000	32 000	87 000	128 000
10—25	670	1 340	2 680	5 360	10 700	21 400	42 000
25—50	93	210	380	780	1 510	3 130	6 500
50—100	16	28	56	110	225	430	1 000
peste 100	1	3	5	11	21	41	92

Scanned with OKEN Scanner

5.

Sensibilitatea
elementelor IAH/IRU
la poluarea agentului lichid

5.1. Generalităţi

Instalaţiile de acţionare hidraulică şi pneumatică au fost întotdeauna sensibile la poluarea fluidelor de lucru. O dată cu apariţia şi dezvoltarea unor noi echipamente, pe măsura creşterii presiunilor de lucru şi a performanţelor lor, precum şi cu creşterea gradului de automatizare, aceste instalaţii sînt tot mai sensibile la prezenţa poluanţilor solizi şi de altă natură. Aceasta se datorează, în primul rînd, tehnologiei şi principiilor de lucru ale echipamentelor moderne ca : servodistribuitoare (hidraulice şi pneumatice), regulatoare de debit, servosupape şi servodrosele.

Studiul poluării şi al efectelor ei asupra elementelor IAH/IAP/IRU se poate face din mai multe unghiuri. Mai întîi efectele poluării sînt, în ordinea crescătoare a gravităţii avariei, următoarele :

— creşterea nivelului magnetic al fluidului, mai ales al lichidului hidraulic, fapt care, în timp, afectează funcţionarea etajului electric al servoechipamentelor ;

— obturarea şi astuparea orificiilor de trecere a fluidului, uneori reglate a fi de ordinul a cîtorva microni ;

— erodarea suprafeţelor în mişcare relativă, fapt care, la început, diminuează performanţele statice şi randamentul, datorită creşterii pierderilor ; apoi, o dată cu mărirea uzurii, performanţele staţionare se înrăutăţesc catastrofal, iar cele dinamice se alterează evident.

— griparea organelor în mişcare relativă ; de la pompă la (servo) distribuitor şi pînă la motor, toate organele elementelor sînt în pericol de gripare, fapt care scoate din funcţiune întreaga instalaţie.

Scanned with OKEN Scanner

Un al doilea punct de vedere al studiului sensibilității se referă la *nivelul de poluare/contaminare limită acceptabil*, pentru ca instalația să nu fie în pericol de defectare. Se impune, apoi, a se defini cantitatea maximă de contaminanți admisibili în unitatea de volum de fluid din instalație, ținînd seama de mărimea, de forma, de duritatea și (eventual) de compoziția lor chimică și fizică.

În sfîrșit, nu fără a aminti importanța cunoașterii surselor de poluanți, localizate în timp și în spațiu și prezentate în capitolul 1, se pot defini domeniile care trebuie cunoscute și care conduc la stabilirea unei metodologii de filtrare, și anume:

— *controlul fluidelor*;

— *protecția organelor expuse* ale elementelor și ale instalației, în ansamblu;

— *eliminarea contaminanților*, care, pe diferite căi, continuu sau la diferite momente ale perioadelor operatorii, pătrund în instalații.

Dintre particulele poluante, particulele solide și aerul reprezintă principalul factor care determină în mod negativ comportarea instalațiilor.

Nivelul tolerării contaminantului de către un element sau sistem instalație este definit ca un raport între *degradarea unei performanțe reprezentative* și *mărimea particulei la care acesta este expus*, în condițiile specifice de lucru. Au fost puse la punct tehnici și metodologii de evaluare a nivelului de tolerare la principalele elemente ale instalațiilor, ca: pompă, motor rotativ, motor liniar, distribuitoare, supape, etanșări, precum și ale sistemelor. Întrucît parametrii de performanță ai unei instalații se definesc mai greu sau sînt nedefinibili, pentru a evita faptul că este dificil a găsi o metodă specifică de studiu a influenței specifice la expunerea la contaminant, a fost pusă la punct o metodă indirectă, de analiză, a rezultatului uzurii. Metoda propusă de Fitch, E.C. în [27] este denumită *Ferografică* și va fi prezentată în cadrul lucrării.

După determinarea tolerării contaminanților de către elemente și instalații, se impune a se găsi o metodă de predicție a duratei de funcționare. Pe această bază, se pot, apoi, selecta, în mod realist filtrele care sînt capabile să asigure un nivel de contaminare a instalației care să-i asigure o funcționare corespunzătoare, o perioadă de timp predeterminată, economic impusă.

Sursele depistate a fi cele mai importante în contaminarea IAH sînt următoarele: suprafața liberă a rezervorului; uleiul nou adus în instalație; simeringurile de la etanșarea tijelor la motoarele liniare; pompa hidraulică; deficiențe structurale și de proiectare ale filtrelor; particulele evazive ce nu trec prin filtru la filtrarea parțială, de tip bypass; contaminarea inițială.

Scanned with OKEN Scanner

5.2. Pătrunderea contaminanților în instalații

5.2.1. Viteza de pătrundere

Aprecierea contaminării la care este supusă o instalație de acționare hidraulică se face cu ajutorul unei mărimi specifice numită *viteză de pătrundere*. Aceasta va fi notată cu v_p, este variabilă în timp pentru unele surse de contaminare și se definește a fi limita raportului dintre numărul de particule pătrunse în instalație și intervalul Δt în care a avut loc, cînd intervalul tinde către zero. Se scrie astfel:

$$v_p(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} \left[\frac{\text{particule}}{\text{timp}}\right]. \tag{5.1}$$

Numărul N de particule, care pătrunde într-un interval de timp $\Delta t = t_2 - t_1$, se obține prin integrare, sub forma:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} v_p(t)\ \mathrm{d}t. \tag{5.2}$$

În stadiul actual al cunoașterii problemei, nu au fost încă determinate legi $v_p(t)$ pentru toate sursele de contaminare. Pornind de la caracteristicile determinate experimental, se pot însă determina, prin dezvoltarea polinomială, legi aproximative. Se sugerează astfel, celor interesați, obținerea unor expresii $v_p(t)$, pornind de la:

$$v_p(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_i t^i + \ldots, \tag{5.3}$$

unde coeficienții a_i se determină prin înlocuirea punctelor (v_{pi}, t_i) folosite pentru localizare și luate din curbele trasate experimental.

5.2.2. Ordine de mărime a vitezei de pătrundere ale particulelelor în IAH

Sursele de particule participă la contaminarea agentului hidraulic în mod diferit, atît ca expresie analitică de calcul, ca evoluție în timp, cît și, cantitativ, ca număr de particule. În fig. 5.1 se prezintă, după [25], evoluția vitezei de pătrundere a particulelor în timp pen-

Scanned with OKEN Scanner

tru fiecare dintre sursele ce vor fi analizate mai detaliat mai jos. Acestea au, corespunzător, expresiile și valorile orientative caracteristice care vor fi prezentate în continuare.

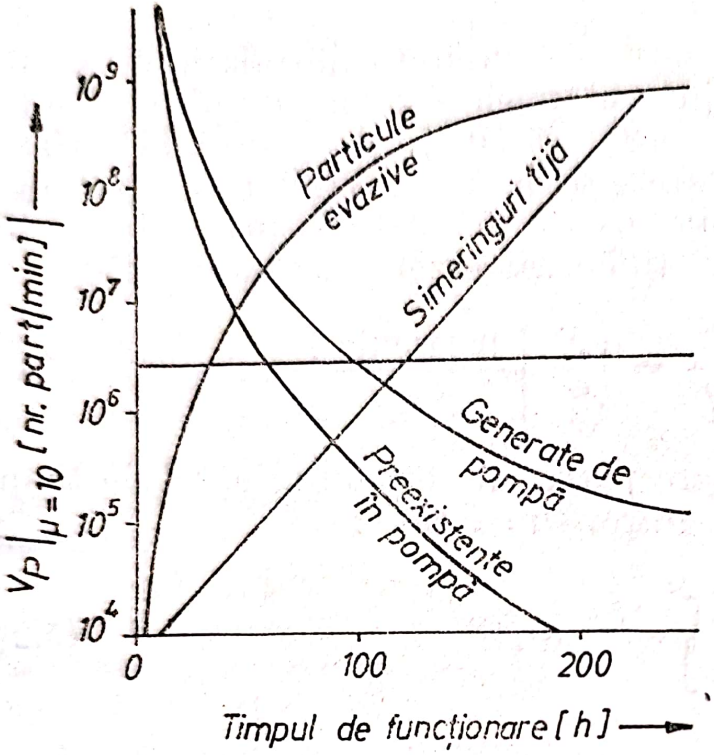


Fig. 5.1. Grafice de evoluție în timp a vitezelor de pătrunere în instalație a particulei pentru cîteva surse mai importante de contaminare.

1) *Suprafețele libere* udate în elementele instalației introduc în instalație particule, în starea inițială, după o lege de forma :

$$N_a = K_s S, \qquad (5.4)$$

unde : $K_s \neq f(t)$ [kg/m^2] și are valori cuprinse între $3{,}1 \cdot 10^{-2}$ de suprafața interioară, pînă la cantități notabile vizual, iar S [m^2] reprezintă suprafața udată.

2) *Uleiul instalației* în stare inițială sau de completare aduce o cantitate de contaminanți după o relație de forma :

$$N_b = K_v V, \qquad (5.5)$$

unde : K_v [kg/m^3] are valori uzuale de 0,1 [kg/m^3] sau 100 [mg/l]; V[m^3] este volumul lichidului.

3) *Respirația activă a rezervorului*, care introduce o cantitate relativ constantă de particule în timp. Aceasta se definește sub forma :

$$N = K'_v V', \qquad (5.6)$$

unde : V' [m^3] reprezintă volumul de aer influent în rezervor; K'_v [particule/m^3], cu valori definite în două moduri : $K'_v = 10^{-4}$ [kg/m^3] (sau 0,1 [mg/l]) pentru fiecare $6{,}45 \cdot 10^{-4}$ [m^3] de aer influent în rezervor sau pentru o instalație cu motor liniar cu tijă de 50 mm și viteză de lucru de 0,2 m/s. Viteza de pătrundere are valori orientative de $v_p = 5{,}5 \cdot 10^{-8}$ [kg/s] (sau 200 [mg/h]) sau, exprimat în număr de particule, 10^6 particule mai mari de 10 μm/minut.

4) *Simeringurile de etanșare a tijelor motoarelor liniare* reprezintă una dintre sursele importante de pătrundere a particulelor. Viteza de pătrundere are o creștere liniară în timp, datorată uzurii zonei de

Scanned with OKEN Scanner

contact dintre tijă și suprafața de contact a simeringului. Se scrie așadar următoarea expresie :

$$v_p(t) = K_d t, \tag{5.7}$$

unde : K_d [nr. de particule/timp la pătrat] reprezintă panta caracteristicii : $K_d = dv_p(t)/dt$ și are după [29] valori de circa $8 \cdot 10^6$ particule mai mari de 10 μm/minut. Exprimat în unități de greutate, K'_d are valori crescătoare în timp, și anume $7{,}33 \cdot 10^{-14}$ [kg/s²] la 58 ore (sau 0,95 mg/h²), $4{,}24 \cdot 10^{-13}$ kg/s² la 100 ore (sau 5,50 mg/h²). Datele au fost prelevate de același motor liniar cu tijă de 50 mm diametru și frecvență de deplasare $\nu = 0{,}02$ [curse duble/secundă]. Pentru altă dimensiune de motor, se are în vedere faptul că, atît K_d, cît și K'_d sînt proporționale simultan cu aria laterală a cilindrului și cu frecvența de lucru. Se scrie separat :

$$K_{d1} \sim D_1 \nu_1 ; \qquad K_{d2} \sim D_2 \nu_2. \tag{5.8}$$

Împărțind cele două relații, se obține o relație relativ precisă de determinare prin extrapolare a datelor numerice prezentate anterior :

$$K_{d2} = K_{d1}(D_2 \nu_2 / D_1 \nu_1). \tag{5.9}$$

5) *Pompa hidraulică*, ca și motorul hidraulic rotativ, sînt surse importante de particule contaminante. Trebuie însă arătat că ponderea acestora, descrisă prin v_p, scade după o perioadă de uzură inițială, se menține apoi constantă în jurul a 10 particule pe minut și apoi, după circa 3 000—5 000 ore, crește foarte mult, pompa intrînd în zona de uzură catastrofală. Același lucru se petreçe și cînd pompa se deteriorează accidental. Uzual, se citează ca valori ale vitezei de pătrundere, $v_p = 0{,}03 \ . \ . \ . \ 30$ mg/h.

6) *Filtrele cu defecte structurale sau de proiectare.* Consecința imediată o constituie transformarea filtrului respectiv într-o „sursă" de particule vehiculate (în loc să fie reținute). Modul de intervenție al filtrelor sub acest aspect se face cu ajutorul coeficientului β_x care, drept urmare, se degradează, pe clase, de la 2,0 la 1,7, de la 10 la 4,3 și, respectiv, de la 100 la 6,3.

Se reamintește că β_x este raportul dintre numărul de particule în domeniul x de mărime aflate în amonte de filtru și numărul de particule în același domeniu de mărime aflate în aval de filtru. Se scrie astfel :

$$\beta_x = \left. \frac{\text{nr. particule în amonte}}{\text{nr. particule în aval}} \right| x \tag{5.10}$$

Scanned with OKEN Scanner

O valoare uzuală a domeniului x este 10 μm. Un filtru cu $\beta_{10} = 2$ reține jumătate din particulele contaminante mai mari de 10 μm. Cu cît β_x este mai mare, cu atît filtrul realizează o mai mare filtrare/reținere a particulelor într-un domeniu μ dat.

7) *Particulele evazive*, care, datorită funcționării instalației, ocolesc filtrul, împreună cu un procent de pînă la 20% din debit, au o influență dramatică asupra bilanțului global de particule și a eficienței filtrării. După cum se vede în fig. 5.1, $v_p(t)$ are o creștere spectaculoasă, după care se stabilizează la o valoare relativ constantă, de circa $1{,}4 \cdot 10^7$ particule/s (sau $7 \cdot 10^8$—/min).

5.2.3. Analiză comparată a contribuției cu particule contaminante a diferitelor surse

Sursele interne de particule datorate resturilor din turnare, sudură și prelucrări mecanice, precum și uzurii interne, se epuizează în timp și se purifică. Aceasta face ca contribuția lor la nivelul global de contaminare să scadă în timp și să devină nesemnificative, după perioada de rodaj de circa 150 ore.

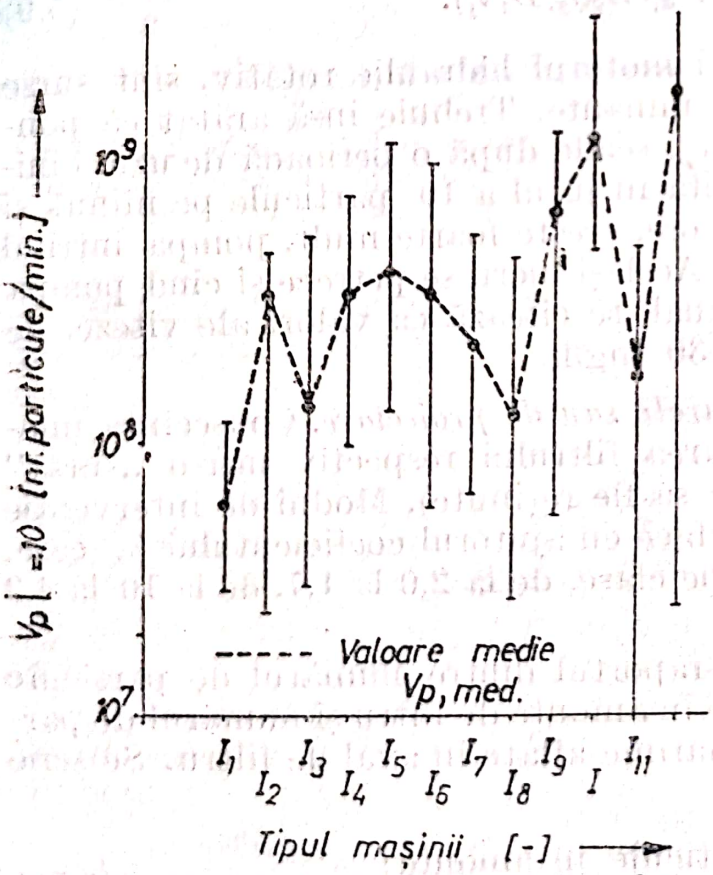


Fig. 5.2. Nivelul de contaminare/pătrundere la diferite mașini.

Pătrunderea de contaminant proaspăt prin sistemele de etanșare ale pompelor, motoarelor, drene este continuu crescătoare, datorită uzurii ce apare în funcționare și devine foarte mare după cîteva sute de ore de lucru.

Particulele care scapă reținerii în filtre, numite și evazive, constituie un procent important din contaminantul vehiculat în instalație.

Fig. 5.2 prezintă, după [29], variația nivelului de contaminare pătrundere v_p în instalație pentru particule mai mici de 10 μm. Rezultatele au fost obținute pe baza analizei unui larg spectru de instalații, notate în abscisă cu I_1, $I_2, \ldots, I_{12}$. Se poate constata

Scanned with OKEN Scanner

că media se plasează undeva între 10^8 și 10^9 particule >10 μm/minut și se apreciază că $5 \cdot 10^8$ este, pentru condițiile țării noastre, o valoare uzuală.

Firma Parker Hannifin a determinat experimental următoarele valori ale vitezei de contaminare cu particule >10 μm, particule rezultate din uzură sau aportate de mediul ambiant: echipamente mobile, $10^8 - 10^{10}$ [—/min]; instalații industriale, $10^6 - 10^8$ [—/min]; instalații din încăperi climatizate, $10^5 - 10^6$ [—/min].

5.2.4. Pătrunderea prin etanșări a particulelor din mediul ambiant

Influența contaminării introduse de mediul ambiant este recunoscută a fi un factor important în menținerea (sau perturbarea) unui nivel dat de echilibru al stării de puritate a mediului hidraulic dintr-o IAH. Ea reprezintă, totodată, și principala sursă de contaminant nou introdus, pe care filtrul, sau sistemul de filtrare, trebuie să fie capabil să îl rețină, îndepărtindu-l, astfel, din instalație.

Pentru a putea stăpîni în mod sigur nivelul de contaminare/puritate a lichidului unei instalații, trebuie identificate toate sursele și limitat cantitativ aportul fiecăreia. Particulele contaminante pătrunse prin sistemul de etanșare al tijei la motoarele hidraulice liniare constituie un factor major de impurificare și totodată cauza principală a deteriorării etanșării însăși și a pierderilor de debit prin acestea. Cunoașterea mecanismului pătrunderii particulelor permite a se obține îmbunătățirea duratei de exploatare a etanșării.

Studiul pătrunderii particulelor prin etanșarea tijei se poate face cu o instalație ca cea din fig. 5.3. Aceasta asigură tijei de încercare, aflate în prelungirea tijei motorului liniar (MHL), un contact continuu cu un mediu ambiant contaminat. Contaminarea este asigurată prin injectarea continuă de amestec de praf în incinta străbătută de tijă și menținută de un sistem de ventilație (v). Tija este spălată în mod continuu de uleiul pulverizat circular pe ea, pompat de pompa *PHR* și trecut, în prealabil, prin filtrul de control (F). Motorul MHL asigură mișcarea alternativă a tijei. Testele, efectuate de-

Fluid Power Research Centre de la Oklahoma State University, au fost făcute cu viteza de 0,25 m/s pe 12 200 cicluri de un metru lungime. Testul devine evident atunci cînd lichidul circulant de spălare atinge un nivel de contaminare de 140 mg/litru (sau 0,14 kg/m³).

Viteza de contaminare și repetabilitatea ei obținută prin studiul a peste 250 de etanșări ale diferitelor firme (fig. 5.4) arată că v_p este

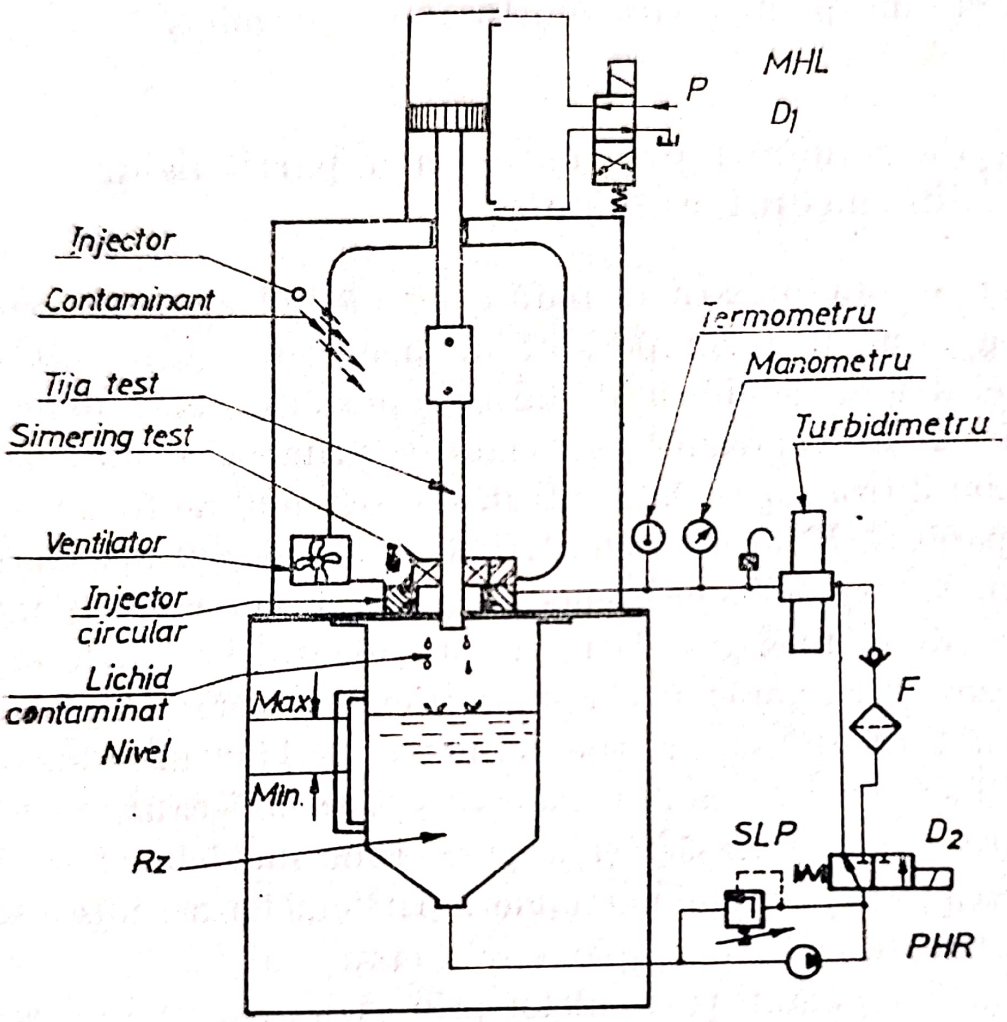


Fig. 5.3. Instalație pentru studiul contaminării datorate pătrunderii particulelor prin etanșările tijei la MHL.

cuprinsă, cu unele mici excepții, între $5 \cdot 10^4$ [—/min] particule > 10 μm și 10^6 [—/min]. Variația nivelului conținutului de contaminant în unitatea de volum de lichid, în funcție de numărul de cicluri, este, în general, crescătoare liniar, cu pantă diferită în funcție de construc-

Scanned with OKEN Scanner

ția și materialul garniturii de etanșare, notate cu *A, B, C, D, E, F* (fig. 5.5).

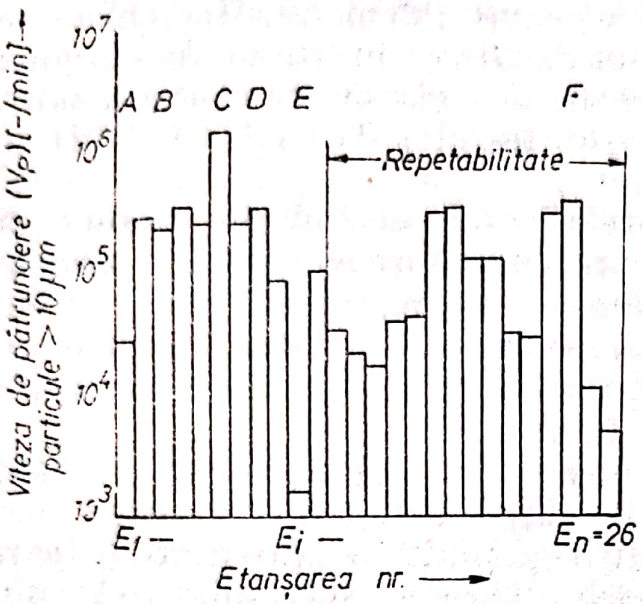


Fig. 5.4. Variația vitezei de pătrundere a particulelor la diferite tipuri de etanșări la tijă a MHL.

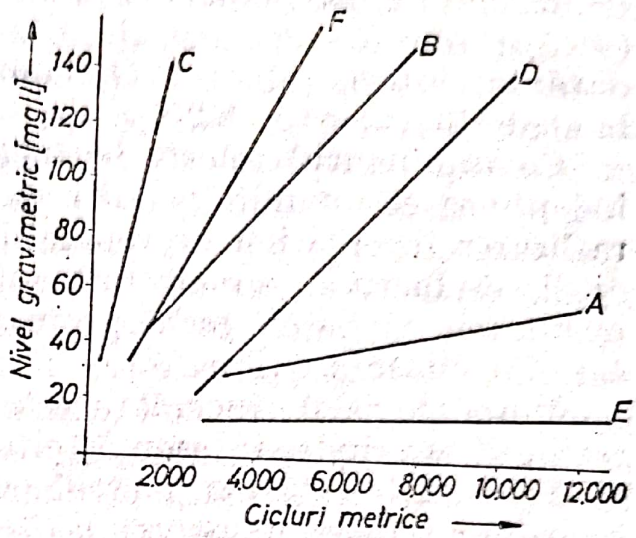


Fig. 5.5. Variația nivelului gravimetric la șase tipuri de etanșări în raplort cu numărul de cicluri-motor.

5.3. Sensibilitatea la contaminare a elementelor IAH/și IRU

5.3.1. Modalitatea de evaluare și de testare a toleranței la contaminare

S-a stabilit că *durabilitatea în funcționare a unui element al IAH/IRU supus unui proces de uzură datorată prezenței de particule contaminante în agentul lichid este timpul de funcționare pe durata căruia degradarea mărimii unei performanțe nu depășește o limită acceptabilă din punct de vedere tehnic și economic.* Întrucît această degradare este un rezultat al uzurii pieselor în mișcare relativă (cu alterarea toleranțelor, a calității suprafețelor, ulterior a sistemelor și mijloacelor de etanșare), s-a impus ca evaluarea uzării componentelor sistemelor fluide să fie exprimată ca o evoluție a performanței implicate (un debit, o pierdere de debit, o presiune etc.) în valori normate, în funcție, de obicei, de dimensiunea particulelor prezente în instalație, mai mici decît un ordin de mărime dat.

Modalitatea de evaluare a susceptibilității unui component, din sistemele cu fluid, la uzură datorită contaminanților se realizează pe

baza unor încercări specifice. Acestea constau, principial, în a supune elementul respectiv la funcționare normală în prezența unui contaminant standard introdus în instalație pe domenii incrementale de mărimi ale particulei; ca domenii uzuale se utilizează (0—5) μm; (0—10) μm; (0—20) μm . . .(0—80) μm, clasificate conform standardului internațional ISO, conform testului TCFPA (ACFTD în l. engleză) (v. cap. 2.2.8).

Contaminantul folosit în încercările de sensibilitate trebuie să îndeplinească anumite condiții de precizie a formei, pentru a permite realizarea încercărilor de repetabilitate și de reproductibilitate. Condițiile de lucru au o mare influență asupra testelor, dar se impune ca rezultatele să fie cît mai apropiat posibile începînd chiar cu clasificarea contaminanților.

Metodologia de încercare este și ea adecvată tipului de element testat și cuprinde, în esență, cîteva etape distincte și anume:

I) se stabilește parametrul (sau mai mulți) reprezentativ(i) care se arată a fi relevant pentru a delimita, indirect, sensibilitatea la contaminare;

II) se stabilește valoarea nominală a parametrului respectiv, precum și a celorlalte mărimi: hidraulice (Q, p) și mecanice (v, F, M, ΔM, ω) implicate, în mod specific, în caracterizarea funcționării elementului;

III) se injectează contaminantul în primul domeniu de dimensiuni;

IV) se lasă să funcționeze elementul testat un interval de timp semnificativ (circa 30 minute);

V) se trece fluidul prin filtrul de control pînă ce se atinge nivelul de puritate dorit pentru acesta;

VI) se măsoară parametrul respectiv/urmărit și se calculează raportul cu mărimea sa normalizată;

VII) se reiau etapele III—VI cu injectarea unei noi cantități de contaminant în alt domeniu, pînă se atinge o degradare de circa 30% a parametrului.

În cele ce urmează, se va prezenta sensibilitatea la contaminare a celor mai importante elemente componente—subsisteme ale IAH/IRU. Acestea sînt: pompa hidraulică (PHR); motorul hidraulic rotativ (MHR); motorul hidraulic liniar (MHL); supapele de limitare a presiunii (SLP) și de reducere a presiunii (SRP); servodistribuitoarele (SVD).

Trebuie arătat că tot mai multe lucrări de specialitate apărute în ultimii zece ani demonstrează interesul cercetătorilor și utilizatorilor, pe de-o parte, pentru stabilirea unei metodologii de studii și, pe de altă parte, pentru aplicarea acesteia la diferitele tipuri de elemente ale IAH și la ansamblul instalațiilor [33, 64, 65 etc.].

Scanned with OKEN Scanner

5.3.2. Sensibilitatea pompelor la contaminarea lichidului

5.3.2.1. **Generalități.** Generatorul de energie hidraulică, pompa, ca prim element din lanțul structurii de ansamblu a IAH, este, în mod inevitabil expus uzurii provocate de prezența cantaminanților în mediul lichid, fie prin uzură directă, asociată mișcării particulelor cu fluidul pompat, fie, în mai mare măsură, prin pătrunderea de particule în spațiile lubrifiate (de lichidul însuși) ale pieselor în mișcare relativă. Se poate arăta totuși că domeniul de mărimi de particule ce afectează funcționarea pompei este mai ridicat decît la alte elemente, servodistribuitorul de exemplu. Acesta este afectat mult și de particulele sub 10 μm, care nu afectează pompele.

Cu toate acestea, pompele rămîn expuse la acțiunea contaminanților, datorită imposibilității de a filtra lichidul aspirat, cu o finețe mai mare, din motive de cavitație. Introducerea prepompării nu rezolvă problema, deși o face neeconomică, întrucît prima pompă rămîne întotdeauna expusă. Desigur că, în timp, sursele interioare de particule din instalație și din lichid, aportoare inițiale de particule mari, scad ca pondere nivelul de contaminare, se stabilizează în jurul unei limite convenabilă elementelor mai sensibile și pompa este mai puțin afectată.

5.3.2.2. **Metodologia de testare.** Se consideră instalația din fig.5.6, care a fost concepută să răspundă ansamblului de testări nece-

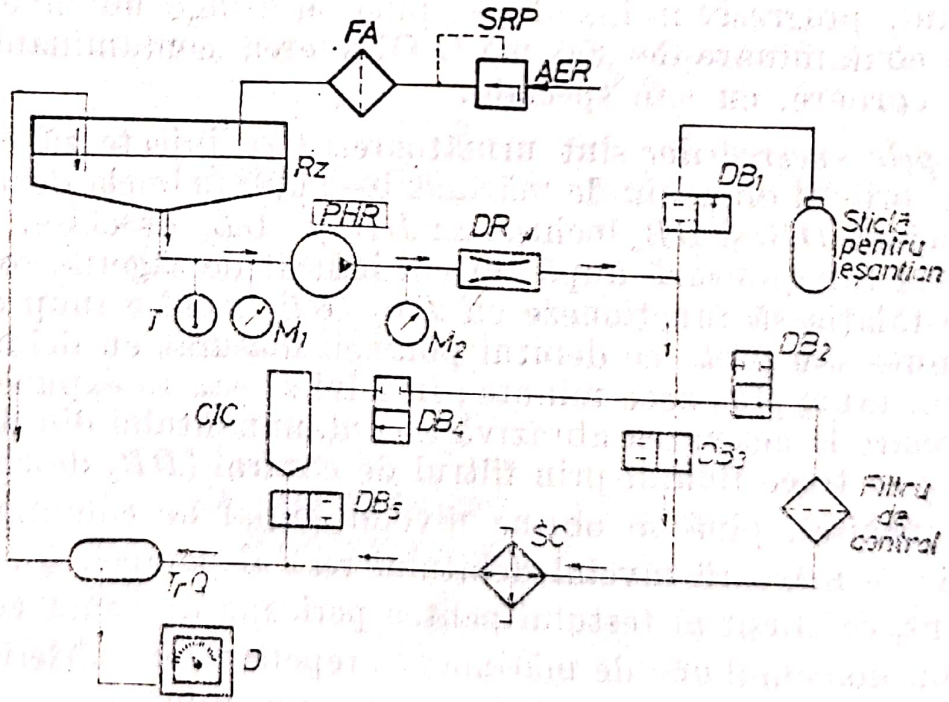


Fig. 5.6. Schema instalației de studiu a sensibilității la contaminare a pompelor hidraulice.

sitate de studiul sensibilității pompelor la contaminanți. Instalația cuprinde : pompă de încercat (PHR) ; drosel pentru încărcarea pompei (DR) ; cameră pentru injectarea contaminantului (CIC) ; distribuitor cu bile (DB) manometru (M) ; termometru (T) ; instalație de aer, formată din filtru de aer (FA), supapă/regulator de presiune a aerului (SRP), necesară pentru menținerea unei presiuni deasupra lichidului din rezervorul (Rz), facilitîndu-se aspirația pompei ; debitmetru (D) cu traductorul de debit (TrQ).

1) *Condițiile preliminare ale încercărilor.* Înaintea încercărilor propriu-zise, care constau în a lăsa instalația să funcționeze pe durată limitată în prezența contaminanților plasați n domenii determinate de mărime, se realizează următoarele : se asigură condițiile constructive necesare pentru ca instalația să conțină un volum controlat de lichid (astfel, dacă volumul de lichid $V_l = (1/4)\ Q_{th}$, Q_{th} fiind debitul teoretic, se asigură condițiile necesare efectuării testului de repetabilitate și de reproductibilitate). Se asigură astfel, o concentrație constantă de particule în fluid ; instalația se curăță cu atenție pînă la un nivel inferior a 1500 particule/ml mai mari de zece microni ; se stabilesc condițiile de funcționare, ca : turația pompei ; presiunea lichidului ; temperatura de lucru ; se măsoară debitul teoretic Q_{th} al pompei în condițiile de presiune și temperatură anterior precizate ; se pregătește contaminantul în intervalele de mărimi 0—5 ; 0—10 ; 0—20 ; 0—30 ; etc. μm. Din fiecare mărime se introduce contaminant, progresiv în instalație, pînă se atinge un nivel gravimetric de contaminare de 300 mg/l. Obținerea contaminantului se face prin cernere, cu site speciale.

2) *Etapele încercărilor* sînt următoarele : se injectează contaminantul din primul domeniu de mărime, 0—5μm, în bucla de încercare a instalației, cu DB_1 și DB_3 închise, iar DB_4 și DB_5 deschise, în timp ce instalația funcționează după traseul indicat de săgețile continue ; se lasă instalația să funcționeze cu DB_4, DB_5 închise timp de circa 30 de minute sau pînă ce debitul pompei, măsurat cu debitmetrul, rămîne constant, plus zece minute ; în felul acesta se expune pompa în funcționare la activarea abrazivă a contaminantului din domeniul specificat ; se trece fluidul prin filtrul de control (DB_2 deschis, DB_3 și restul închise), pînă se obține nivelul inițial de contaminare al lichidului ; se măsoară nivelul debitului real al pompei, Q_r, cu fluidul filtrant, ca sfîrșit al testului pentru perioada de uzură cu contaminant din domeniul unu de mărime ; se repetă fazele anterioare, cu injectarea de contaminant cu domeniu de dimensiuni progresiv crescător pînă ce degradarea totală a debitului pompei, luată procentual,

Scanned with OKEN Scanner

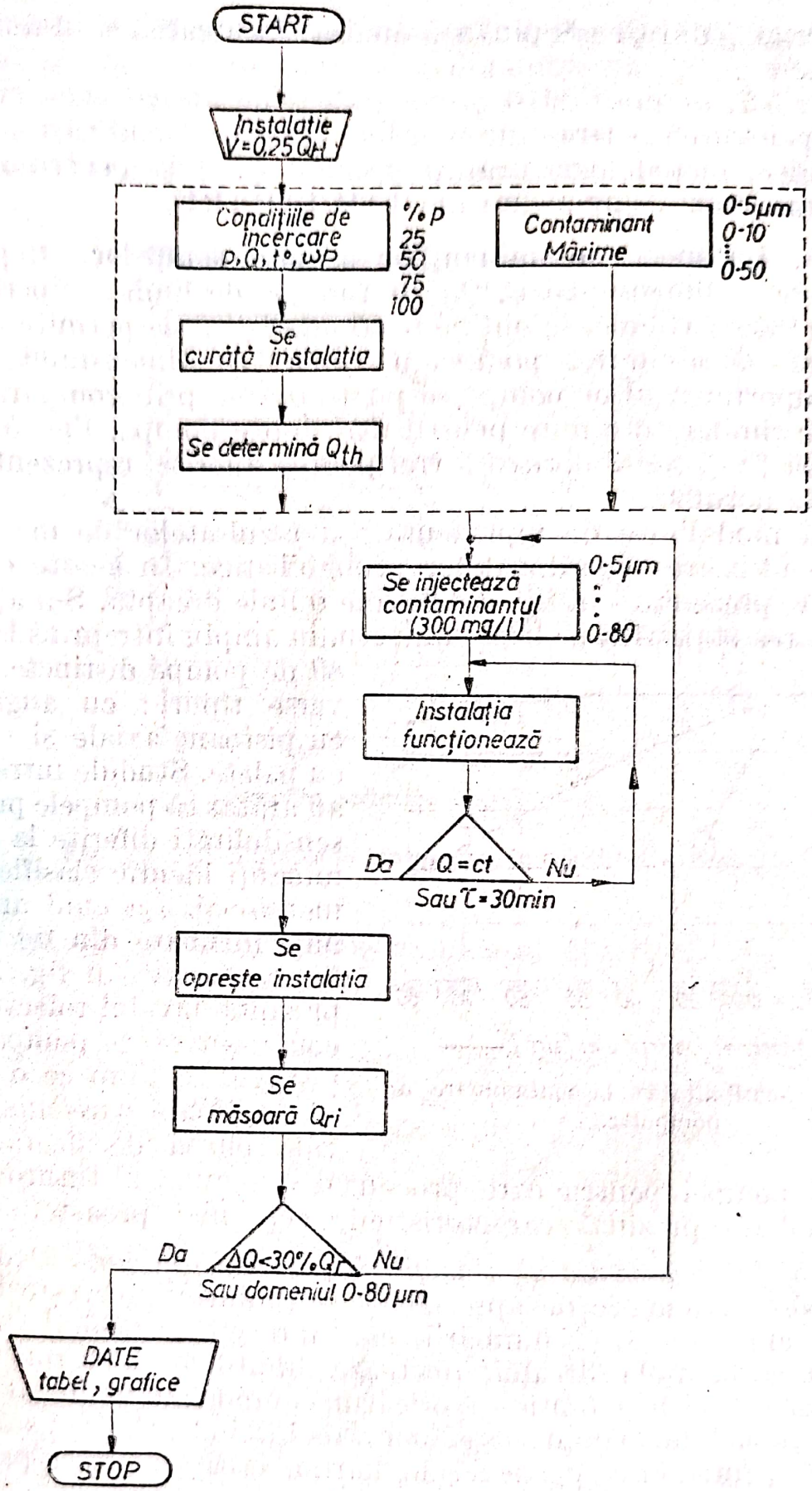


Fig. 5.7. Schema bloc a fazelor de încercare experimentală.

Scanned with OKEN Scanner

reprezintă 30% din Q_r sau pînă s-a epuizat încercarea și în domeniul 0—80 μm.

În fig. 5.7, se prezintă o organigramă, cu succesiunea etapelor necesare pentru efectuarea încercărilor. Cu mici modificări și adaptări specifice, metodologia arătată rămîne valabilă pentru majoritatea elementelor componente ale IAH/IAP/IRU.

5.3.2.3. **Acțiunea contaminanților asupra pompelor.** Reprezentînd raportul adimensional Q_r/Q_{th} în funcție de limita superioară a domeniului de particule, se obține o caracteristică ce permite a pune în evidență sensibilitatea pompei în raport cu dimensiunile particulei. Comportarea altor pompe se poate obține prin comparație cu rezultatele similare obținute pentru mai multe pompe. Fig. 5.8 prezintă, după [28], sensibilitatea a trei pompe diferite, reprezentată în coordonate normale.

O altă modalitate de reprezentare a rezultatelor de mai sus o constituie utilizarea coordonatelor probabilistice. În aceste coordonate, curba prezentată în fig. 5.8 devine o linie dreaptă. S-a ajuns la reprezentarea statistică pe baza unui studiu amplu întreprins la peste 80 de pompe distincte, de diverse tipuri: cu angrenaje, cu pistoane axiale și radiale, cu palete. Studiile întreprinse au arătat că pompele prezintă sensibilități diferite la contaminanți identic clasificați dimensional, așa cum arată liniile înclinate din fig. 5.9. O linie înclinată în fig. 5.9 reprezintă nivelul toleranței la contaminare a pompei respective, în timp ce o altă linie înclinată oarecum constituie curba de degradare a debitului pompei pentru care procentul desemnat al tuturor pompelor studiate prezintă caracteristicile cele mai proaste.

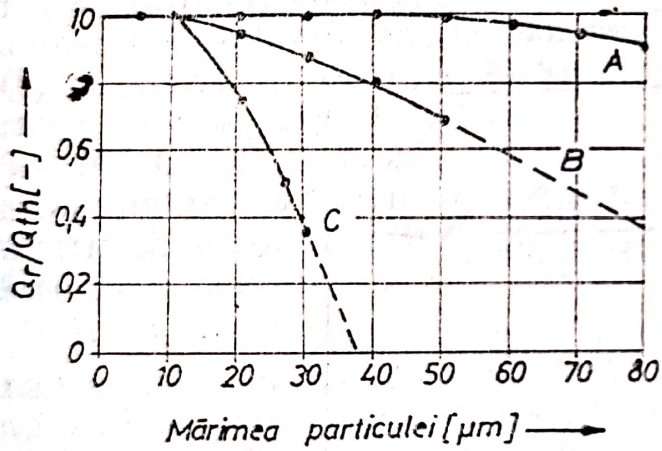


Fig. 5.8. Sensibilitatea la contaminare a pompelor.

1) *Modelul matematic al sensibilității la contaminare.* Deducerea unui model matematic de apreciere a sensibilității servește la evaluarea modului în care schimbările care intervin în mediul ambiant, sau în performanțele filtrului, afectează durabilitatea în funcționare a pompei (și, prin extensie, a oricărui component al instalațiilor). La baza modelului matematic, elaborat de Fitch, E. C. [28], stă observația că, pentru orice particulă de mărime critică ce trece printr-un

Scanned with OKEN Scanner

component al instalației, există un număr finit de performanțe, măsurabile, afectate de particula contaminantă. O mărime de particule de mărime considerată critică pentru un element dat, trebuie privită nu numai ca mărime, dar și din punct de vedere al duritățiii și al concentrației de particule de dimensiunea dată în unitatea de

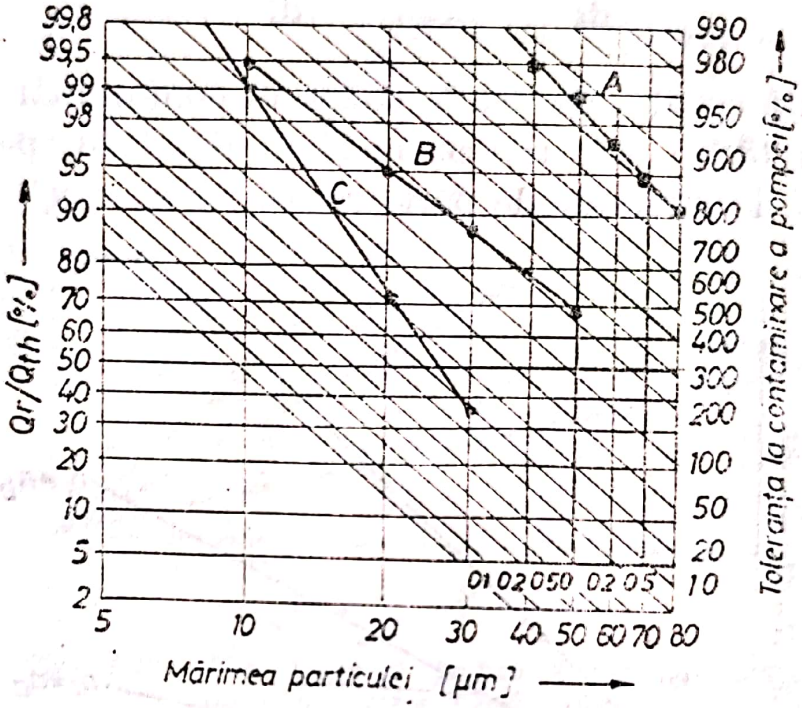


Fig. 5.9. Sensibilitatea la contamnare în coordonate statistice.

volum (nivel gravimetric). De asemenea, densitatea și factorul de formă au o anumită influență asupra sensibilității elementului respectiv.

În urma cercetărilor efectuate, s-a ajuns la concluzia, importantă pentru aspectul matematic al problemei, că, *în condiții similare de expunere la acțiunea contaminanților de mărime critică identică, elementele instalațiilor sînt afectate în aceeași măsură.*

Se notează cu:

— dQ/dt [$(m^3/s)/s$], viteza de degradare a debitului pompei;

— $S_i(n)$ [—], sensibilitatea la contaminare a pompei/elementului la fiecare interval de mărimi al particulei, i;

— n_i [—/ml], sau [—/m^3] în SI, numărul de particule în intervalul de mărime, i, în unitatea de volum de lichid care intră în pompă;

— $N_i(t)$ [—/s], numărul de particule în intervalul de mărime, i, în unitatea de timp, expuse la trecerea prin pompă;

Scanned with OKEN Scanner

— dN_i/dt [s^{-1}], viteza cu care particulele din fiecare interval de mărime sînt expuse pompei.

Cu aceste notaţii, se poate exprima viteza de degradare a debitului pompei, cu ecuaţia :

$$\frac{dQ_r}{dt} = - S_i(n) \frac{dN_i(t)}{dt}, \tag{5.11}$$

care reprezintă ecuaţia de uzură, datorată contaminării.

Ecuaţia (5.11) este reprezentată în fig. 5.10, pentru diferite concentraţii i de intervale de particule ($n_a < n_b < n_c$).

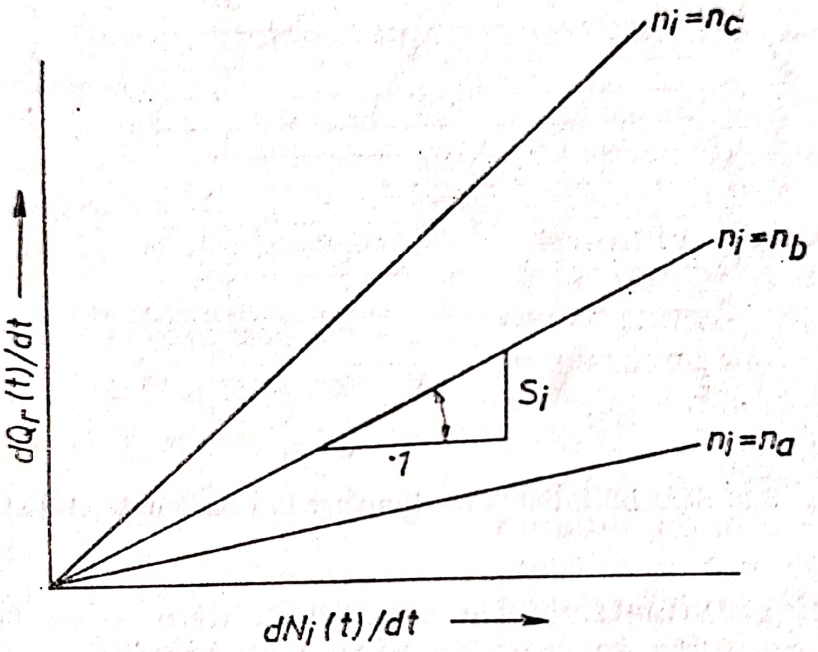


Fig. 5.10. Reprezentarea grafică a ecuaţiei de uzură.

Se constată că, cu cît concentraţia este mai mare şi cu cît viteza de expunere a particulelor la trecerea prin pompă este mai mare, cu atît sensibilitatea S_i se măreşte.

Ecuaţia de uzură poate fi determinată, pentru condiţiile de încercare/funcţionare de laborator sau uzinale, dacă se are în vedere natura fiecărui factor în parte. Unul dintre aceştia este viteza de expunere a particulelor la trecerea prin pompă. Se scrie, aşadar

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = Q(t) n_i \tag{5.12}$$

Scanned with OKEN Scanner

și are graficul din fig. 5.11 pentru diferite valori ale concentrației ($n_a < n_b < n_c < n_d$). Și aici, cu cît debitul pompei sau concentrația de particule în fluid sînt mai mari, cu atît expunerea particulei la trecerea prin pompă va fi mai mare.

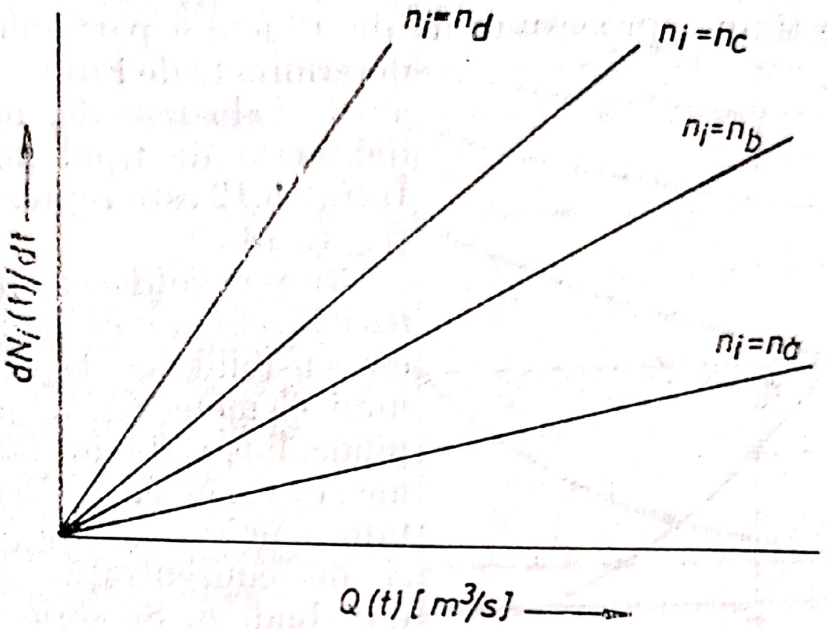


Fig. 5.11. Reprezentarea grafică a relației vitezei de expunere a particulelor.

Factorii și aspectele care au un rol important în caracterizarea sensibilității pompei sau a unui element la contaminare, precum și în extrapolarea modelului matematic, dat de ecuația (5.11), la condițiile industriale, sînt : *relația dintre concentrație și procesul de distrugere a particulei; factorul de sensibilitate; durata de funcționare.* Acești factori vor fi analizați în cele ce urmează.

2) *Concentrația de particule.* În aplicațiile industriale, concentrația de particule este menținută la un nivel aproximativ constant de continua împrospătare cu particule de tip praf din mediul ambiant ; este, în special, cazul instalațiilor de pe utilajele pentru construcții și din agricultură, unde aportul de particule noi este important față de procesul de (auto)distrugere al particulelor din instalații. În laborator situația este diferită, întrucît pompa nu este legată la un motor liniar și la o instalație complexă, pe de-o parte, iar, pe de altă parte, injectarea de particule se face o singură dată, iar aceste particule sînt ulterior distruse, eventual, la trecerea prin secțiunile critice ale pompei.

Procesul de distrugere a particulelor este ilustrat de o lege de scădere, exponențială în timp, a numărului de particule n, față de numărul inițial de particule n_0, în unitatea de volum, sub forma :

$$n = n_0 \, e^{-t/\tau}, \qquad (5.13)$$

unde : n_0 [—/m³] este concentrația inițială a particulelor ; τ[s] este constanta de timp a procesului de distrugere a particulelor și a fost determinată de Fitch E. C. [29] a avea valoarea de nouă minute indiferent de tipul pompei.

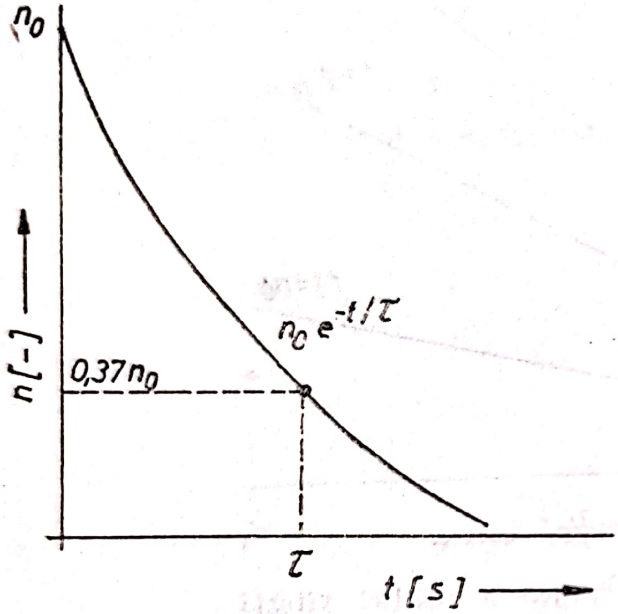


Fig. 5.12. Evoluția procesului de distrugere a particulelor.

În fig. 5.12 este reprezentată ecuația (5.13).

3) *Sensibilitatea pompei/elementelor la contaminare.* S-a determinat că sensibilitatea la contaminare a unui element S [(m³/part)² /s] depinde, liniar, de doi factori, și anume : de coeficientul de uzură la contaminare $\alpha = dS/dn$ [(m³/part)²/s] și de concentrația de particule din fluid, n. Se scrie așadar :

$$S = \alpha n, \qquad (5.14)$$

ecuație care este reprezentată grafic în fig. 5.13.

4) *Coeficientul de uzură la contaminare* este o mărime dependentă de mărimea intervalului de particule contaminate. Experimental [25, 28], s-a demonstrat că α este dat de o relație de forma :

$$\alpha = 2 \ln (Q_0/Q_r)/(\tau n_0^2). \qquad (5.15)$$

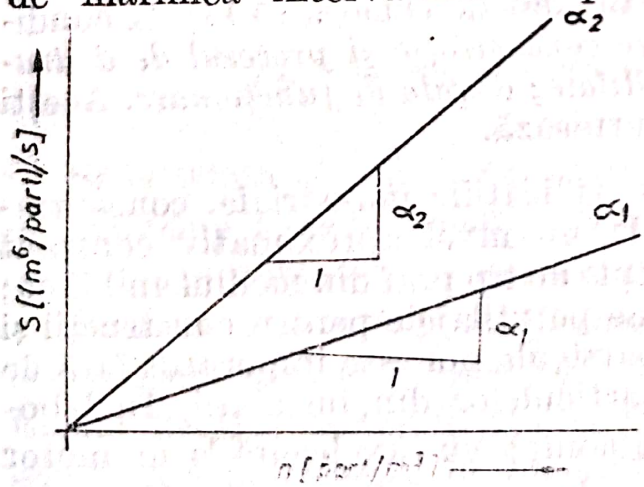


Fig. 5.13. Relația sensibilitate la uzură — concentrație de particule.

În fig. 5.14, sînt prezentate date uzuale și se arată influența normală a dimensiunilor particulelor asupra degradării debitului pompei. Coeficienții de uzură la contaminare, obținuți în laborator, reprezintă constante caracteristice ale pompei încercate. Coeficienții asociați pot fi utilizați pentru a prevedea rezistența la contaminare/durata de funcționare a tuturor pompelor identice, atunci cînd sînt expuse la uzură, datorată unor distribuții determi-

nate de mărime a particulelor și unor condiții de funcționare similare cu ale pompei încercate.

5) *Ecuația dinamică a debitului pompei sub contaminant.* Dacă se combină ecuațiile (5.11), ... , (5.14), se obține ecuația diferențială a debitului real al pompei, în condiții de laborator :

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\alpha n_0^2 Q(t) e^{-2t/\tau}. \tag{5.16}$$

Integrînd ecuația (5.16), se obține ecuația dinamică a debitului pompei la orice moment t, pornind de la debitul inițial Q_0 în procesul de uzură la care este supusă pompa de prezența contaminantului în mediul lichid :

$$Q(t) = Q_0 e^{-\alpha \tau n_0^2 (1-e^{-2t/\tau})} \tag{5.17}$$

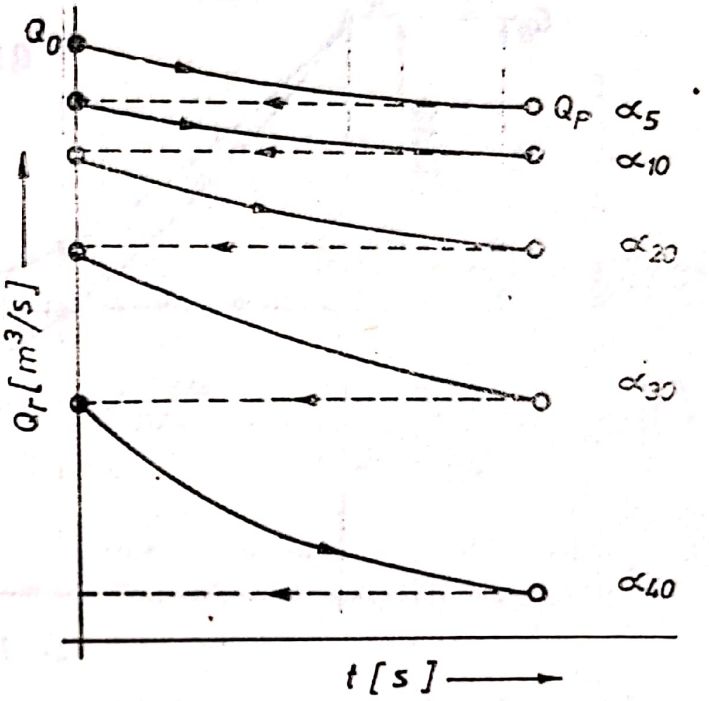


Fig. 5.14. Relația dintre sensibilitate și mărimea particulelor.

Ecuația diferențială de uzură (5.16), ca și soluția ei (5.17), se modifică în condiții de exploatare industrială, unde contaminantul pătrunde continuu în instalație și menține, la un nivel relativ constant nivelul de contaminare, cu toate că filtrul reține o parte din particule. Această continuă interschimbare a particulelor creează condiția de *trecere unică* a particulelor prin pompă. În loc ca particulele dintr-un domeniu de mărime să fie supuse continuu unui proces de degradare (trecînd în alt domeniu de mărime), distribuția de particule rămîne constantă și egală cu n_0. Drept urmare, ecuația (5.13) își pierde valabilitatea, iar ecuația diferențială (5.11) devine, pentru un singur interval de mărime a particulelor :

$$\frac{dQ(t)}{dt} = -\alpha n^2 Q(t). \tag{5.18}$$

După integrare, se obține ecuația dinamică a debitului pentru un singur interval de mărime a particulelor :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha n^2 t}. \tag{5.19}$$

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 5.15 sînt prezentate ambele ecuații, (5.17) și (5.19), pentru un singur domeniu de mărime n, unde indicele L este atribuit încercărilor din laborator, iar I-funcționării în regim industrial oarecare.

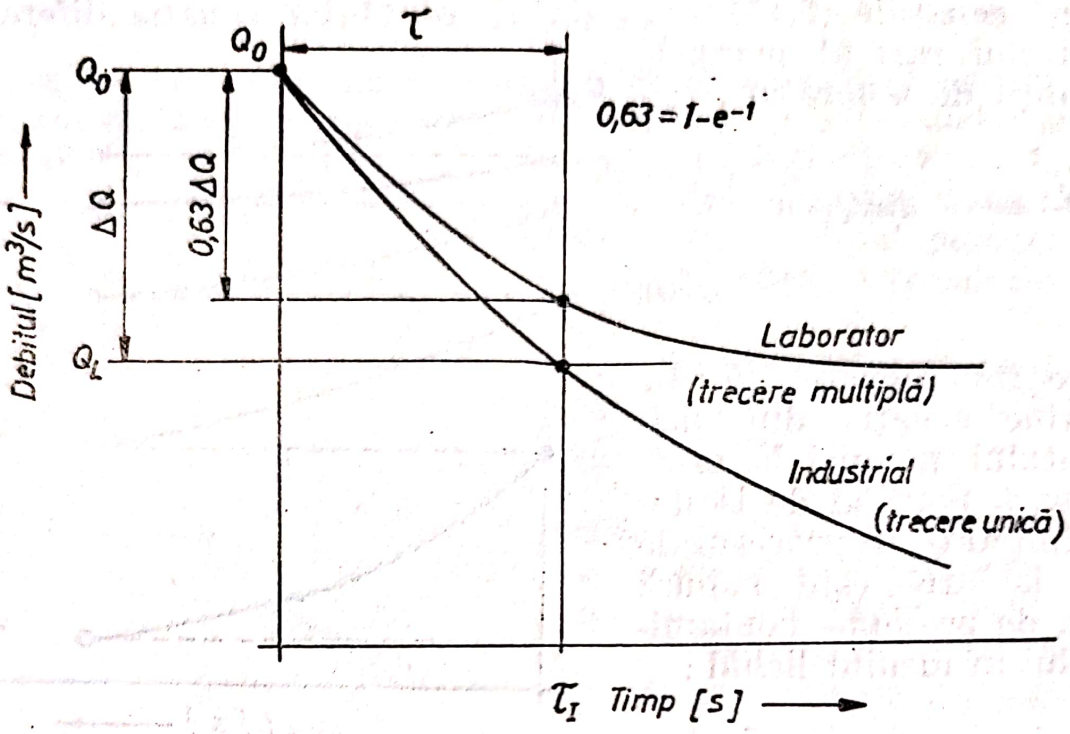


Fig. 5.15. Modificarea caracteristicii de degradare în timp a debitului pentru condiții de laborator și industriale.

6) *Corelația dintre datele de laborator și cele în regim industrial.* Trecînd relațiile (5.17) și (5.19) în formă logaritmică și atribuind indicii L pentru (l)aborator și I pentru (i)ndustrial, se obține :

$$\ln(Q_L/Q_0) = -\alpha\tau n_0^2, \text{ pentru } t \to \infty \qquad (5.20)$$

și, respectiv, $\ln(Q_I/Q_0) = -\alpha\tau_I n^2$, (5.21)

unde τ_I[s] reprezintă timpul necesar ca pompei să i se micșoreze debitul pînă la Q_I, în funcționare industrială, atunci cînd este expusă o contaminare de n [particule /ml]. Împărțind ecuațiile (5.20) și (5.21), se obține *relația generală de corelație laborator-industrial* :

$$\frac{\ln(Q_L/Q_0)}{\ln(Q_I/Q_0)} = \frac{\tau n_0^2}{\tau_I n^2}. \qquad (5.22)$$

Ecuația de corelație de mai sus poate răspunde unui mare număr de probleme de calcul. De exemplu, dacă se acceptă că debitul unei pompe poate scădea cu 20 % ($Q_I = 0{,}8\ Q_0$) în timpul duratei sale de funcționare $\tau_I = 1000$ ore, concentrația maximă de particule admisă

Scanned with OKEN Scanner

n, de aceeaşi mărime ca cea reprezentată de n_0 ce poate să traverseze pompa, se obţine din relaţia (5.22), în care se explicitează n :

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\tau}{\tau_I} \frac{\ln(Q_I/Q_0)}{\ln(Q_L/Q_0)}}. \qquad (5.23)$$

Scris altfel, se obţine :

$$n = n_0 \left(\frac{\tau}{\tau_I}\right)^{1/2} \left[\frac{\ln(Q_0/Q_I)}{\ln(Q_0/Q_L)}\right]^{1/2}.$$

Înlocuind cu datele problemei şi cu $\tau = 9$ min, se obţine expresia finală a concentraţiei de particule n, sub forma :

$$n = n_0 \left(\frac{9}{1000 \cdot 60}\right)^{1/2} \frac{[\ln(Q_0/0{,}8Q_0)]^{1/2}}{[\ln(Q_0/Q_L]^{1/2}} = n_0 \frac{5{,}785 \cdot 10^{-3}}{[\ln(Q_0/Q_L]^{1/2}}. \qquad (5.24)$$

Numărul de particule n în fiecare domeniu de mărime, pentru o concentraţie cu un nivel gravimetric de 300 [mg/l], se poate obţine din tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Numărul de particule injectate în fiecare domeniu de mărime al particulelor contaminante

Mărimea particulei [μm]	Domeniul de mărime (0 — K) mμ				
	0—5	0—10	0—20	0—30	0—40
1—5	760.000	660.000	600.000	600.000	600.000
5—10	39.900	132.000	165.000	155.000	145.000
10—15	100	7.700	29.000	32.000	35.000
15—20		300	5.000	9.200	12.000
20—30		8	980	3.550	7.000
30—40			20	234	900
40—50				15	88
50—60				1	11
60—70				0,93	0,90
70—80					0,1

7) *Ecuaţia durabilităţii la contaminare* a unei pompe este o expresie a timpului/duratei T de funcţionare a unei pompe, în raport de debitul final Q_f sub care degradarea performanţei pompei este prohibitivă, pentru întreaga distribuţie a mărimii particulelor.

Scanned with OKEN Scanner

Rezolvînd ecuaţia (5.19) în raport cu timpul, se obţine, succesiv :

$$Q/Q_0 = e^{-\alpha n^2 t} \; ; \tag{5.19'}$$

$$\ln(Q/Q_0) = -\alpha n^2 T. \tag{5.25}$$

Explicitînd timpul $t = T$ la momentul cînd $Q \to Q_r$ se scrie :

$$T = -\ln (Q_r/Q_0) / \left(\sum_{i=1}^{i=i_{max}} (\alpha_i \cdot n_i^2) \right) \tag{5.26}$$

unde Q_0 [m³/s] este debitul iniţial ; α_i [(m³/part)²/s] — coeficientul de uzură la contaminare obţinut în laborator pentru fiecare interval 0—5 μm ; 0—10 μm ; etc. ; n_i[— /m³] — concentraţia de particule, pentru diferite intervale de mărime, care descrie nivelul de contaminare sau distribuţia de mărime a particulelor în condiţii industriale.

Ecuaţia durabilităţii la contaminare (5.26) poate fi folosită la calculul durabilităţii pompei, atunci cînd pompa funcţionează în prezenţa unui contaminant de mărime oarecare dată, care, însă, trebuie pusă în evidenţă prin măsurători de laborator. În fig. 5.16, se prezintă, după [28], valori comune ale durabilităţii la contaminant, a unei pompe date, şi caracteristicile de distribuţie a particulelor. Bazîndu-ne pe valorile de durabilitate specificate şi caracteristicile de distribuţie ale particulelor din fig. 5.16, se constată că pompa este

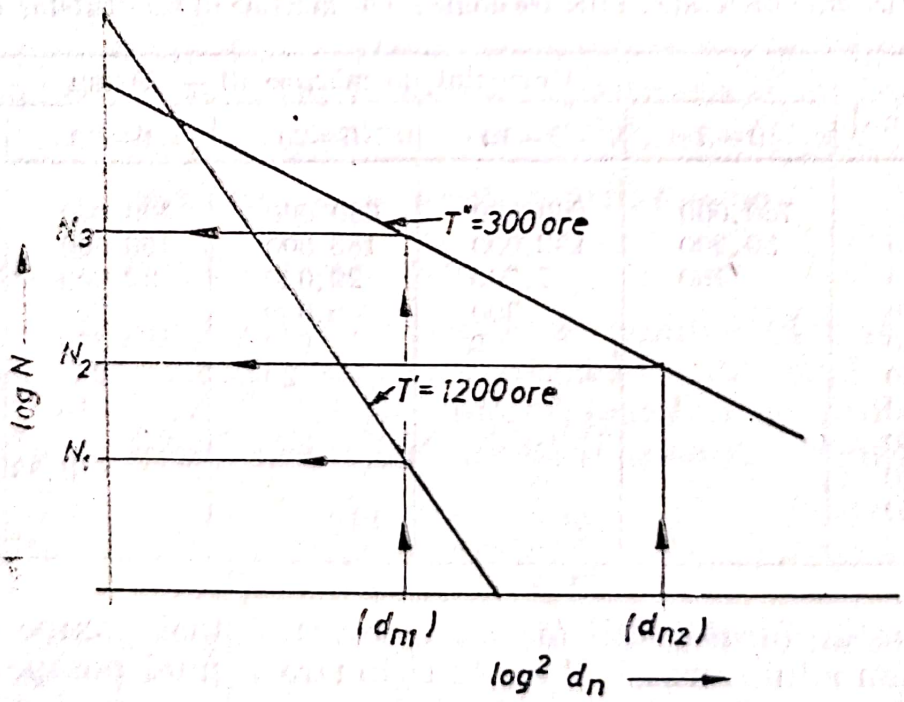


Fig. 5.16. Distribuţia de particule în regim industrial şi funcţie de durabilitatea la contaminant a unei pompe hidraulice.

Scanned with OKEN Scanner

mai sensibilă la particule mari (d_{n1} și d_{n2}) și, pentru a obține o durabilitate mai mare, numărul de particule acceptat în intervalul dat este, corespunzător, mai mic pentru d_{n1} decît pentru d_{n2} ($N_1 < N_2$). În schimb, pentru același d_{n1}, trecerea de la $T' = 1200$ ore la $T'' = 300$ ore conduce la o mai puțin rigidă restricție în ceea ce privește numărul de particule în intervalul dat, în unitatea de timp ($N_1 < N_3$). De aici, rezultă și date privitoare la sarcinile de filtrare care trebuie respectate de filtru, pentru a asigura o durabilitate T dată.

8) *Corelația dintre durabilitatea pompei, nivelul de contaminare și toleranța la contaminare.* Profilul de toleranță a pompei poate fi precizat dacă se determină diferite distribuții pentru o aceeași durabilitate a pompei. Acest profil descrie, pentru pompă ca și pentru orice alt element al IAH/IRU, nivelele maxime de distribuție de mărime ale particulelor, care pot să traverseze continuu pompa/elementul, fără ca performanța sa să scadă sub un nivel precizat pe perioada precizată de durabilitatea T. Profilul de toleranță se trasează în coordonate log—log² (v. fig. 5.9), pentru a facilita compararea cu alte distribuții de particule. Determinarea profilului se face ca loc geometric al punctelor de tangență, asociate liniilor de distribuție a mărimii particulelor care dau aceeași durabilitate la contaminare, pentru care scop se caută, printr-un proces iterativ, cu ajutorul calculatorului electronic, mai multe distribuții ce conduc la același T. În fig. 5.17, se poate urmări modalitatea de trasare a curbei de toleranță la contaminare a pompei. Orice distribuție-linie dreaptă care este tangentă la /(sau sub) profilul toleranței la contaminare va avea o durabilitate T egală sau mai mare decît cea reflectată de profilul însuși.

În fig. 5.18, se prezintă, după [28], un mod simplu de reprezentare a duratei de funcționare T, în funcție de nivelul de contaminare n, cu particule de mărime superioară lui 10 μm, în aval de pompă, și nivelul de toleranță la contaminare. Din graficele prezentate rezultă clar faptul că, pentru o aceeași toleranță T_p, creșterea durabilității conduce la scăderea nivelului de contaminare în aval și, ținînd seama de definiția factorului de filtrare β (relația (5.10)), la mărirea lui β, pentru același nivel de contaminant, în amonte de pompă. Aceste aspecte se vor prezenta în paragraful următor.

Trebuie știut că toleranța la contaminare, T_p, are valori mari, cînd pompa este mai insensibilă, și valori mici, cînd pompa este mai sensibilă la contaminare ($T_p \sim 1/S$).

9) *Corelația dintre durabilitate, raportul beta și contaminare.* Întrucît nivelul de contaminare a lichidului este dependent de viteza de pătrundere a particulelor contaminate și raportul beta al filtrului, se poate construi un grafic care să intercoreleze aceste trei mărimi.

Scanned with OKEN Scanner

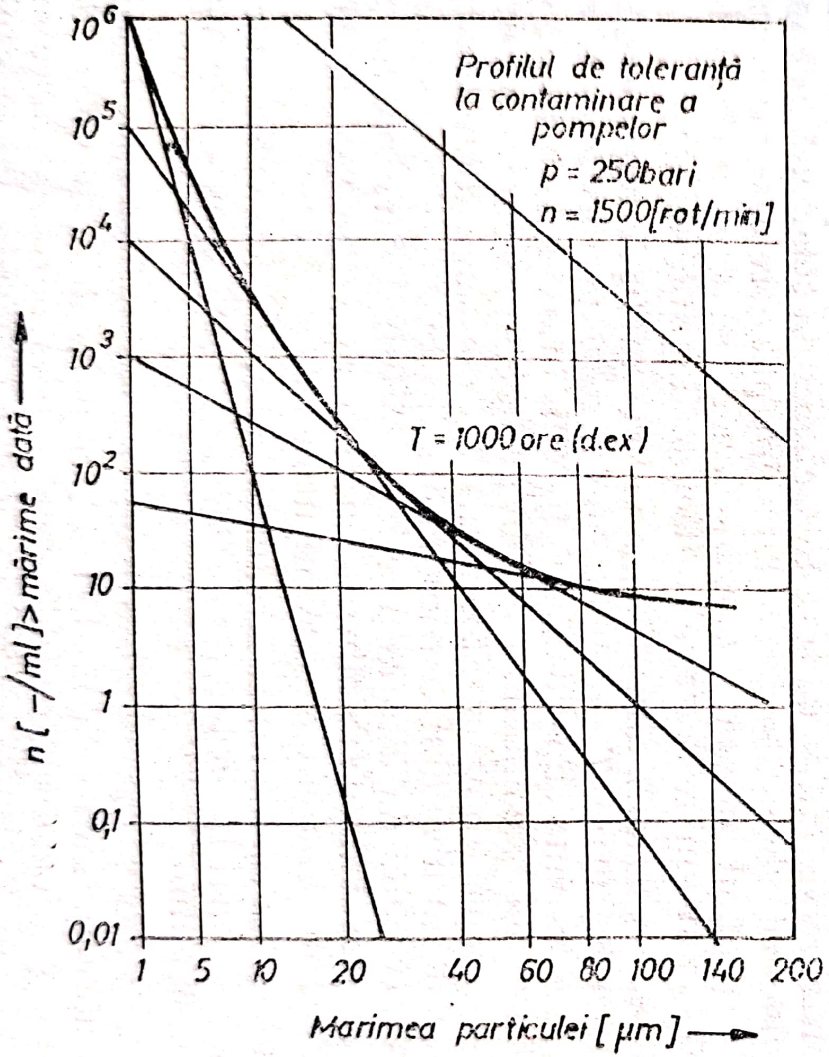


Fig. 5.17. Construcția profilului toleranței la contaminare pe baza distribuției de durabilitate constantă.

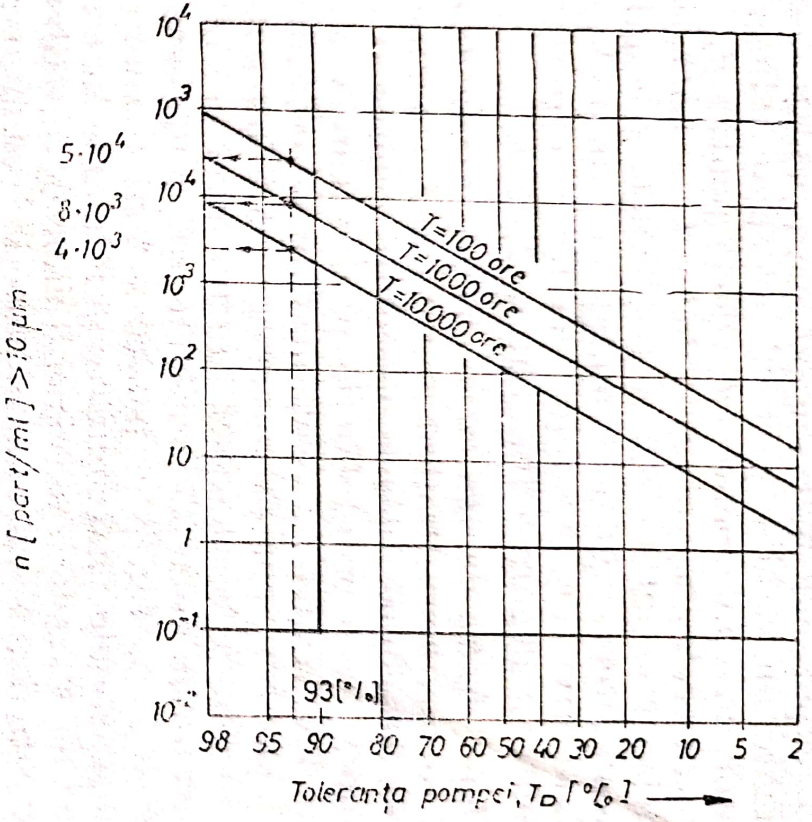


Fig. 5.18. Grafic al corelației dintre durabilitatea T, factorul de filtrare β, nivelul de contaminare n și toleranța la contaminare a pompei T_p.

În fig. 5.19, se prezintă acest grafic pentru $T = 1000$ ore, și o concentrație n de 10^8 [part/ml] > 10 μm. Se constată că, pentru scăderea sensibilității la contaminare, este necesar ca raportul de filtrare β să crească, adică filtrul să fie capabil să rețină o mai mare cantitate de particule în amontele său.

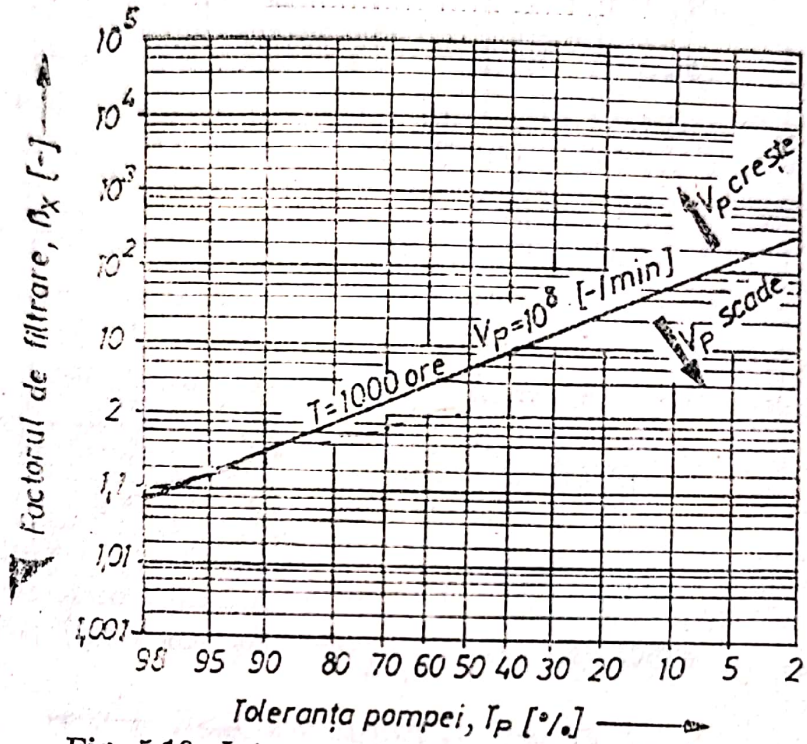


Fig. 5.19. Intercorelația β-toleranță-durabilitate.

10) *Factorul de extindere al durabilității pompei.* Dacă o pompă funcționează cu o durabilitate T_1 în prezența unei concentrații n_1 de particule și se dorește ca, în prezența altei concentrații n_2, durabilitatea să fie aceeași ($T_2 = T_1$) sau mai mare ($T_2 > T_1$ sau $(T_2/T_1) > 1$), trebuie luate măsuri corespunzătoare. Cea mai simplă și mai uzuală constă în modificarea factorului de filtrare β.

Suportul matematic al celor arătate constă în corelația dintre durabilitate și nivelul de concentrație n, dată prin ecuația durabilității la trecerea unică de tip industrial (5.26). Se poate scrie, simplificat :

$$T \sim 1/n^2. \tag{5.27}$$

Scrisă pentru cele două concentrații n_1 și n_2, și împărțind, se obține :

$$T_2 = (n_1^2/n_2^2)T_1. \tag{5.28}$$

Concentrația de particule mai mari de 10 μm se exprimă, în funcție de factorul de filtrare β, prin relația :

$$n = 1440/(\beta - 1)\,;\; n \sim (\beta - 1)^{-1}. \tag{5.29}$$

Înlocuind relația (5.29), particularizată pentru indicii 1 și 2, în (5.28), se obține expresia factorului *extensiei de durabilitate*

$$\gamma = T_2/T_1\,;\ \gamma = [(\beta_2 - 1)/(\beta_1 - 1)]^2, \tag{5.30}$$

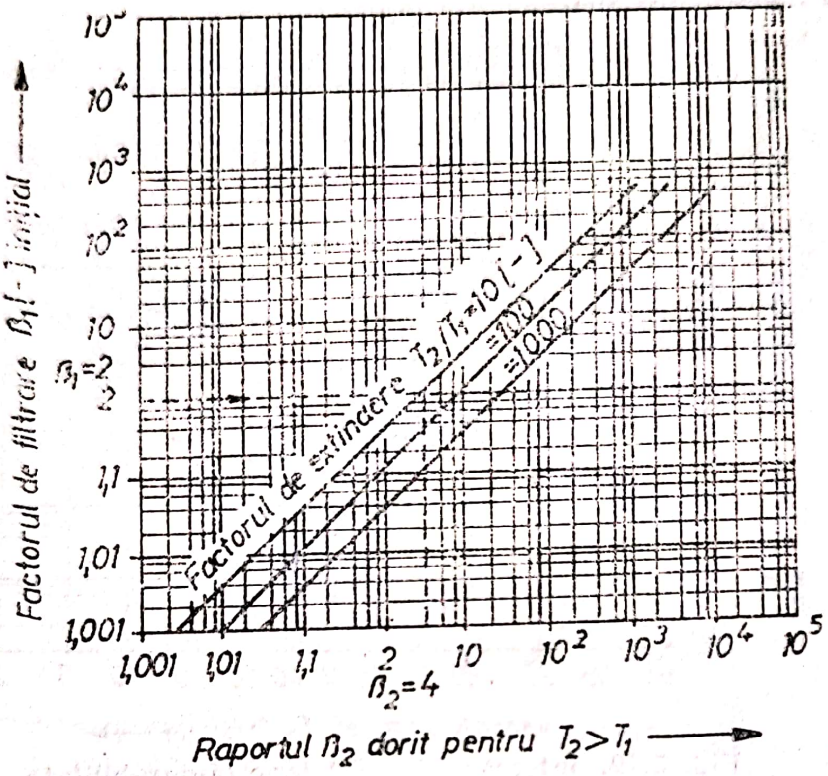


Fig. 5.20. Extinderea durabilității pompei prin ajustarea factorului de filtrare.

care este reprezentat, pentru cîteva valori, în graficul din fig. 5.20. Se constată, urmărind traiectoria punctată, că, pentru mărirea de 10 ori a durabilității, $T_2 = 10\ T_1$, factorul de filtrare β_2 trebuie să crească la 4 (față de $\beta_1 = 2$), adică filtrul trebuie ales astfel încît să rețină de patru ori mai multe particule ($> 10\,\mu m$) decît lasă să treacă. În cele de mai sus, se consideră că nivelul concentrației particulelor în amonte de filtru rămîne constant.

Pentru funcționarea filtrului și a pompei la două viteze de contaminare/pătrundere a particulelor în instalație, v_{pi}, diferite, este necesar să se găsească o relație între v_p și factorul de filtrare β. În acest sens, se scrie ecuația de echilibru staționar al filtrării, sub forma :

$$N_{av}Q = v_{pi}/(\beta - 1), \tag{5.31}$$

unde s-au notat cu :
N_{av} [nr. particule/m^3], sau [nr. particule/ml)], numărul de particule de mărime μ în avalul filtrului ; Q[m^3/s] sau [ml/min], debitul lichi-

dului prin filtru ; v_{pi} [nr. particule/s] sau [nr. particule/min], viteza de pătrundere în lichid a particulelor mai mari decît mărimea μ ; β[—], factorul de filtrare relativ la particule de mărime μ sau mai mari.

Ecuaţia (5.31) permite a scrie relaţia de proporţionalitate :

$$v_{pi} \sim (\beta_i - 1). \tag{5.32}$$

De aceea, pentru a menţine un nivel constant de contaminare în avalul filtrului, pentru un debit constant, dar pentru două viteze distincte de contaminare v_p, este necesar să se asigure un factor de filtrare β, corespunzător, diferit. Se ajunge la această concluzie pe baza relaţiei (5.32), scrisă pentru cele două situaţii *1* şi *2*

$$\begin{aligned} v_{p1} &\sim (\beta_1 - 1) \\ v_{p2} &\sim (\beta_2 - 1) \end{aligned} \tag{5.33}$$

Împărţind cele două relaţii, se obţine :

$$v_{p1}/v_{p2} = (\beta_1 - 1)/(\beta_2 - 1) \tag{5.34}$$

Transpunerea grafică a relaţiei (5.34) se face pe graficul din fig. 5.19, care se completează cu linii înclinate paralele, cîte una pentru fiecare nou nivel al vitezei de pătrundere a particulelor v_p (fig. 5.21). Pe

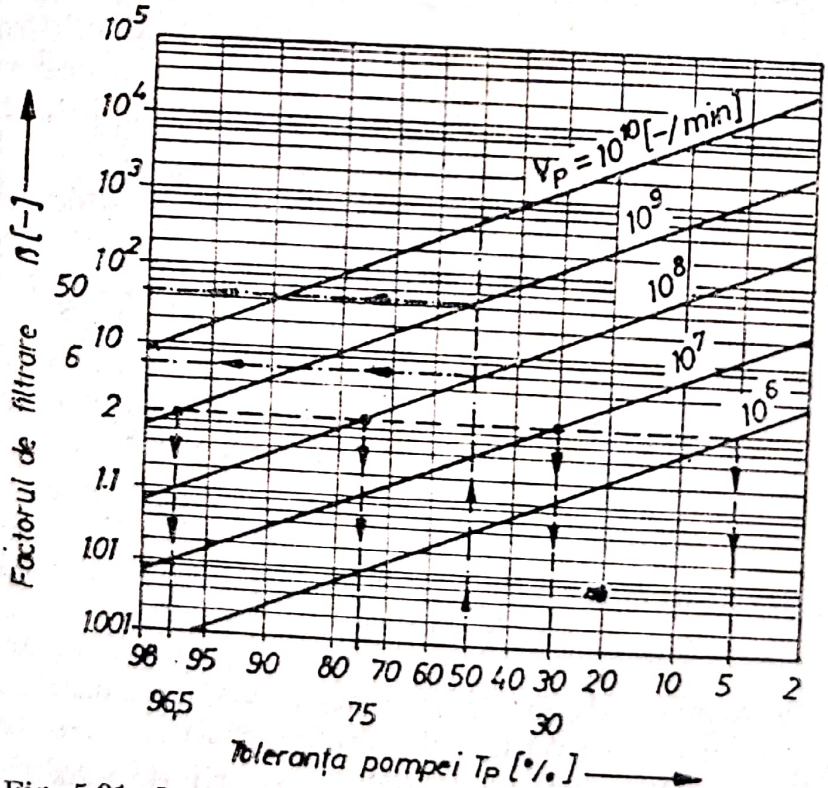


Fig. 5.21. Intercorelaţia β-toleranţă-viteză de pătrundere/contaminare.

Scanned with OKEN Scanner

graficele din figură, se constată următoarele : — pentru același raport de filtrare β, pompa tolerează tot mai rău/bine contaminările tot mai ridicate/scăzute ale fluidului (liniile punctate) : — pentru aceeași toleranță a pompei la contaminare, o viteză tot mai mare de pătrundere a particulelor reclamă filtre cu un coeficient β tot mai ridicat (liniile-punct).

11) *Intercorelația dintre parametrii hidraulici* (Q și p) *și parametrii de contaminare-filtrare* (T, T_p, β, v_p). Mărimile enumerate mai sus, și anume debitul, presiunea, durabilitatea, toleranța la contaminare, factorul de filtrare și viteza de pătrundere reprezintă ansamblul caracteristicilor, cu ajutorul cărora se descrie complet starea de funcționare a unei pompe din punctul de vedere al contaminării/filtrării. Intercorelarea acestor mărimi se face cu datele experimentale ale studiului, prelucrate statistic, folosind relațiile anterior prezentate. Sub aspect grafic, dat fiind că sînt mai mult de patru caracteristici (inclusiv domeniul de mărime al particulelor), se utilizează trei

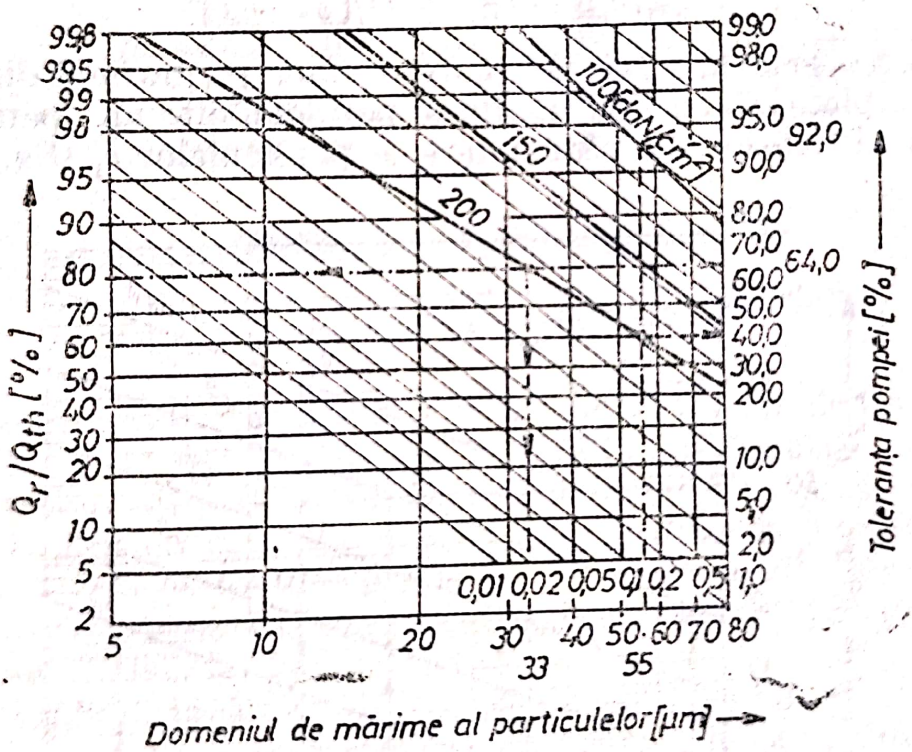


Fig. 5.22. Intercorelația debit-toleranță-presiune-mărime a particulelor.

modalități de reprezentare grafică care vor fi analizate, în cele ce urmează împreună cu rezultatele comparative.

În fig. 5.22, se prezintă evoluția scăderii debitului pompei și a toleranței la contaminare, în raport de presiune, pentru diferite do-

menii de mărimi ale particulelor contaminante. Se constată că, o dată cu creșterea presiunii, pentru același domeniu de mărime a particulelor poluante, scade debitul real ca și toleranța pompei la contaminare (linia punctată verticală). Pentru același debit și aceeași toleranță, scăderea presiunii de lucru permite creșterea domeniului de mărime a particulei și, corespunzător, finețea de filtrare a filtrului din instalație (linia-punct).

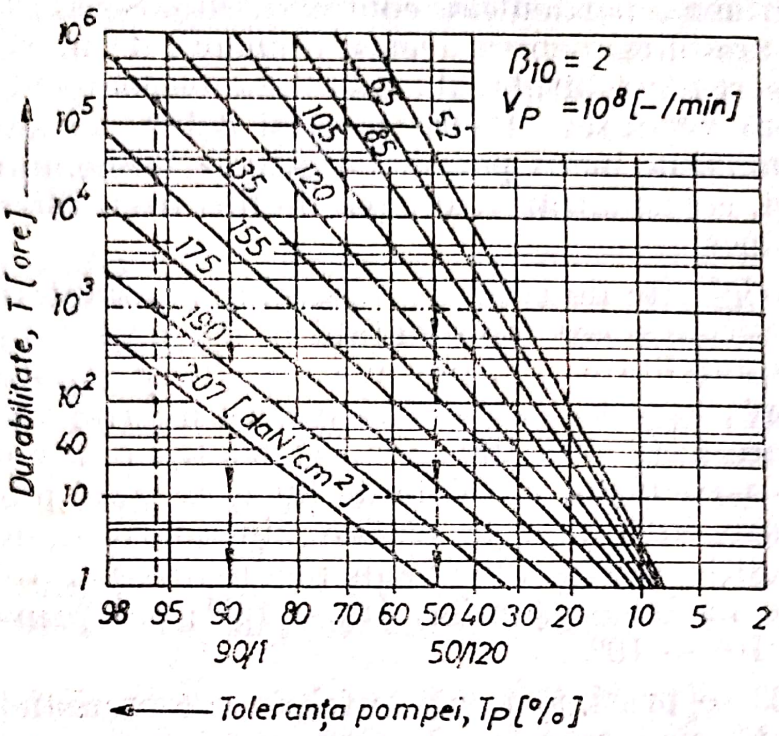
O altă modalitate de corelare a mărimilor caracteristice ale unei pompe o constituie și cea reprezentată în fig. 5.23. Se prezintă corelația dintre durabilitatea, T, presiunea de lucru și toleranța pompei la contaminare; aceasta se trasează pentru diferite valori ale factorului de filtrare β_x (2; 10; 100; etc.) și pentru o anumită viteză de pătrundere a particulelor v_p. Valorile lui v_p au fost prezentate anterior; reamintim însă valorile uzuale: instalații industriale, 10^6—-10^8 [part/min]; utilaje mobile în medii urbane, $10^8 - 10^9$; utilaje mobile în mediu de șantier, $10^9 - 10^{10}$; echipamente în medii condiționate, $10^5 - 10^6$.

În fig. 5.23 se prezintă două astfel de caracteristici. Din analiza lor, se constată următoarele: durabilitatea crește cu scăderea presiunii de lucru (linia întreruptă) pentru $T_p = ct$; toleranța pompei poate să scadă, cu cît scade presiunea (pompă mai insensibilă) la durabilitate constantă (linia punct); creșterea factorului de filtrare mărește durabilitatea filtrului, dar acest lucru este însoțit, desigur, și de alte consecințe adiacente dezavantajoase, cum sînt: creșterea prețului filtrului și al întreținerii instalației, creșterea consumului energetic.

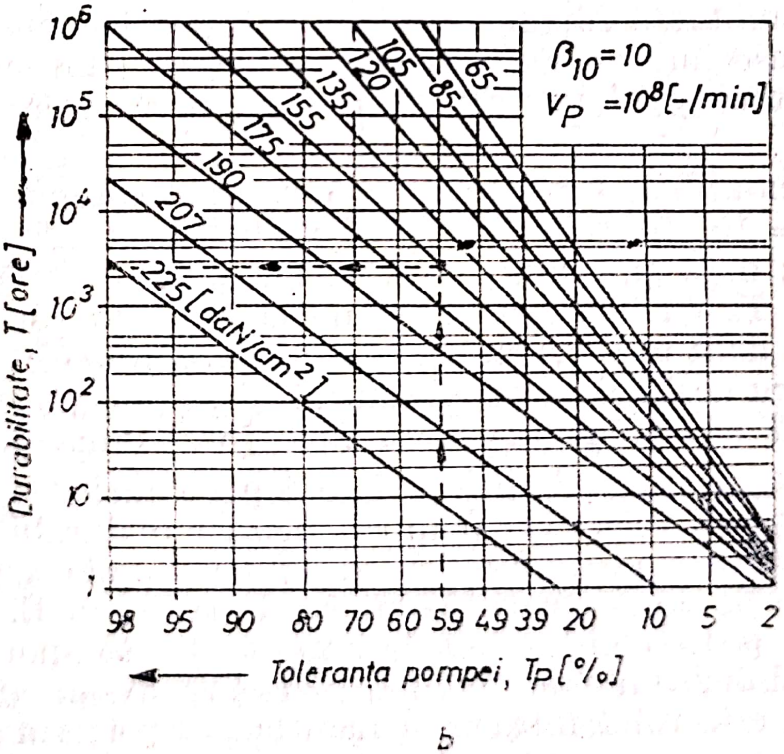
Să mai notăm că, pentru $T_p = 50\%$ (de exemplu), filtrarea cu $\beta_{10} = 2$ și $p = 105$ [daN/cm²] asigură o durabilitate $T_1 = 1000$ [ore], (fig. 5,23, *a*); dacă presiunea crește doar pînă la 155 [daN/cm²], durabilitatea T_2 nu mai reprezintă decît $T_2 = 40$ [ore] în absența altor măsuri; dacă însă β_{10} crește la 10 prin schimbarea filtrului (fig. 5.23, *b*), pentru aceleași valori ale lui T_p și p, (50% și respectiv 155 [daN/cm²]), T efectiv devine $T_3 \simeq 2500$ [ore] (linia punctată).

Modul în care viteza de pătrundere a particulelor și presiunea de lucru influențează toleranța pompei, pentru o durabilitate prestabilită $T = 1000$ ore, poate fi văzut in fig. 5.24, unde se prezintă graficele pentru cele două vloari ale lui β_{10} după Fitch. E. C. [28]. Din analiza lor, se poate constata cît de important este aportul de contaminare a mediului ambiant, pe de-o parte, și, pe de altă parte, cît de important este rolul filtrării în menținerea performanțelor instalației/pompei, sau în creșterea lor, inclusiv a presiunii, prin menținerea în sistem a unui echilibru al contaminării. Pentru o durabili-

Scanned with OKEN Scanner



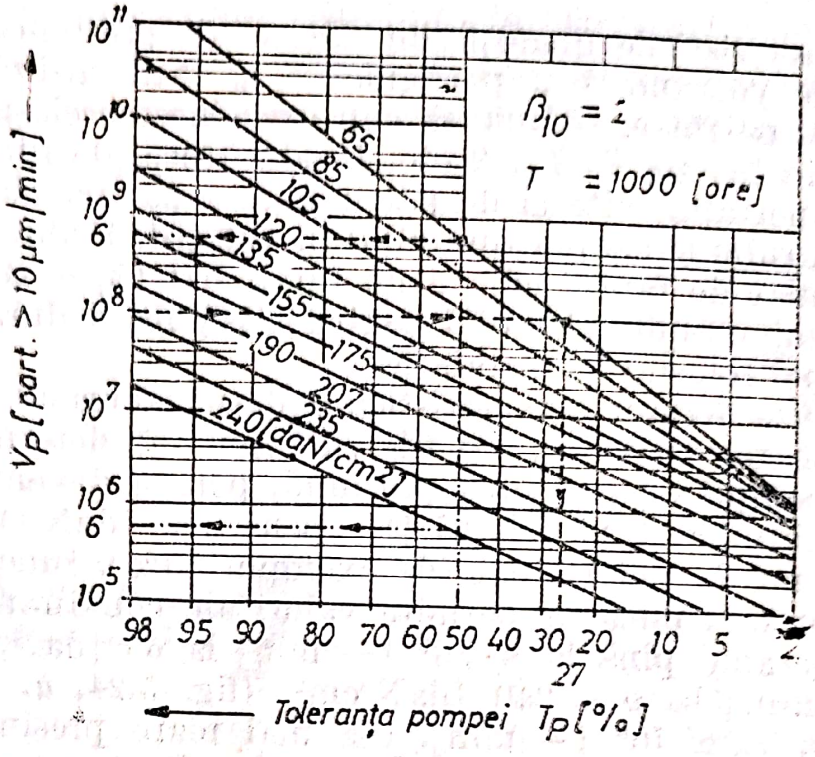
a



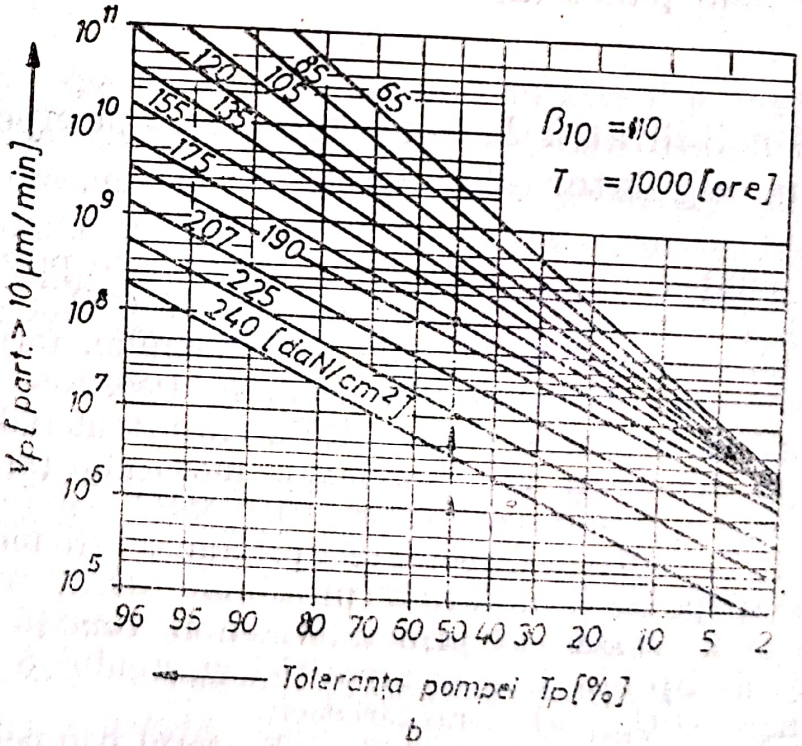
b

Fig. 5.23. Intercorelația durabilitate-toleranță-presiune-factor de filtrare.

Scanned with OKEN Scanner



a



b

Fig. 5.24. Intercorelația $T - T_p - v_p - \beta_{10}$ — presiune.

Scanned with OKEN Scanner

tate T, caracteristicile filtrării sînt dictate de presiunea de lucru și de viteza de pătrundere a particulelor v_p. Atît utilizatorul, cît și producătorul de filtre, trebuie să cunoască intercorelația dintre mărimile implicate: v_p, T, T_p, β etc. Producătorul de filtre trebuie să cunoască importanța vitezei de pătrundere a particulelor, v_p, asupra selectării filtrului și asupra durabilității pompei. Utilizatorul trebuie să fie informat de faptul că, cu un filtru dat ($\beta_x = A$), v_p trebuie menținută sub o anumită limită pentru a asigura o durabilitate prescrisă pompei folosită în instalație.

Din analiza acestor caracteristici, se desprind următoarele concluzii: funcționarea cu un v_p dat (de exemplu 10^8) determină scăderea toleranței pompei cu creșterea presiunii, pompa devenind mai sensibilă la contaminant, pînă la 27 [%] pentru 65 [daN/cm²] (fig. 5.24, *a*); pentru un T_p determinat (de exemplu 50%), funcționarea la o presiune tot mai mică ar permite valori ale contaminării mediului ambiant mergînd pînă la $6 \cdot 10^9$ [—/min] la 65 [daN/cm²] față de $5 \cdot 10^5$ [—/min] la $p = 240$ [daN/cm²] (fig. 5.24, *a*, linia punct); deci pentru $v_p \simeq 10^8$ [—/min], cea mai mare presiune la care o pompă poate lucra pentru $T_p = 50\,\%$ ($T = 1000$ ore) este de maxim 105 [daN/cm²], dacă se folosește un filtru cu $\beta_{10} = 2$; această presiune crește la 175 [daN/cm²], dacă se folosește un filtru cu $\beta_{10} = 10$ (și de 225 [daN/cm²], dacă s-ar folosi un filtru cu $\beta_{10} = 100$) (fig. 5.24, *a* și *b* linia punctată).

5.3.3. Sensibilitatea la contaminare a pompelor cu regulator de presiune

Schema pompei cu regulator de presiune este prezentată în fig. 5.25, împreună cu caracteristicile de reglare $Q/Q_{max} = f(p/p_{max})$ în coordonate normate/reduse. Scopul subsistemului, format la rîndul său din mai multe subsisteme (*PHRCV*, *R*, *DS*), este de a menține constant reglajul presiunii (și al debitului) în sistem, indiferent de variația sarcinii exterioare la arborele/tija motorului (nefigurat). Presiunea din sistem acționează asupra tijei *MHL—R* (egulator), dar, spre deosebire de reglarea directă, aici presiunea este menținută constantă de (s)upape de (l)imitare a (p)resiunii, *SLP*, în timp ce presiunea ajunge la *MHL—R* prin intermediul unui (d)istribuitor cu (s)ertar, *DS*, de tip 2/3. Reglarea poziției șurubului *Ş* mută punctul de funcționare Q/Q_{max} al caracteristicii.

Din punct de vedere funcțional, utilizatorul pompei nu este interesat să cunoască modul în care se comportă, separat, pompa sau

Scanned with OKEN Scanner

regulatorul în prezența contaminanților din instalații. Interesul său este acela ca pompa să fie capabilă să furnizeze suficient debit la o presiune dată, astfel încît mașina să funcționeze corect.

Durabilitatea ansamblului pompă-regulator trebuie considerată împreună, și anume pînă în momentul în care pompa nu mai furni-

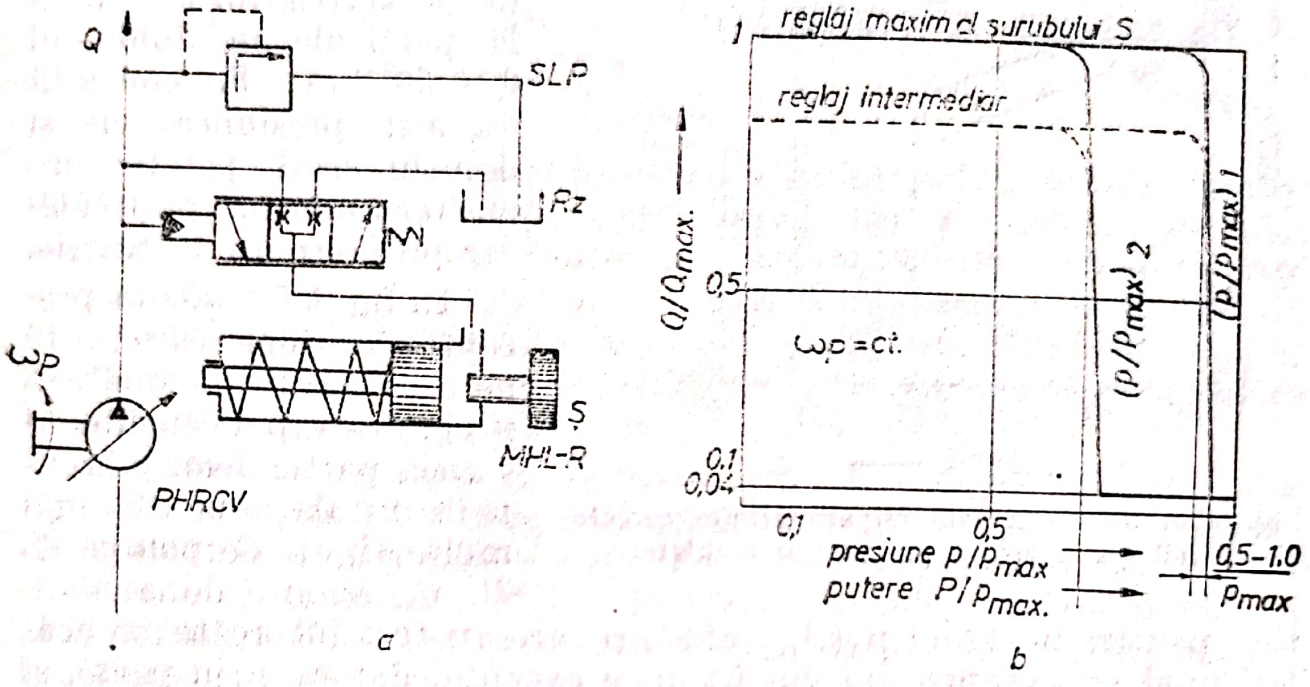


Fig. 5.25. Pompa regulator de presiune și caracteristica de reglare.

zează un debit specificat, la o anumită turație și la o presiune dată, sau atunci cînd presiunea de tăiere suferă o cădere considerabilă față de cea preconizată. Situația aceasta se atinge, fie prin defectarea ansamblului pompă-regulator, fie, în cazul studiat în lucrare, datorită efectului cumulat al uzurii asupra ambelor componente simultan. Uzura suprafețelor active ale pompei și regulatorului și modificarea jocurilor respective se transformă în creșterea pierderilor hidraulice pînă la nivele măsurabile direct. În plus, uzura pistonului motorului liniar al regulatorului se transpune în modificarea presiunii de reglaj. În consecință, sensibilitatea grupului pompă-regulator la acțiunea contaminanților dinfluid se poate pune în evidență prin evidențierea corelației $Q = Q(p)$ pentru diferite intervale de mărimi de contaminanți, precumși prin studiul corelației separate între debit, presiune și particulele res-

pective. Astfel, în fig. 5.26 se prezintă modificarea caracteristicii $Q = Q(p)$, unde mărimile hidraulice, debit și presiune, sînt (exprimate în coordonate normate) relative, și modul în care aceasta se alterează pe măsura creșterii ordinului de mărime a particulelor contaminante, de la starea inițială pînă la particule în domeniul 0 — 50 [μm]. Se constată că, atît presiunea, cît și debitul scad pe măsura creșterii mărimii particulelor prezente în instalație.

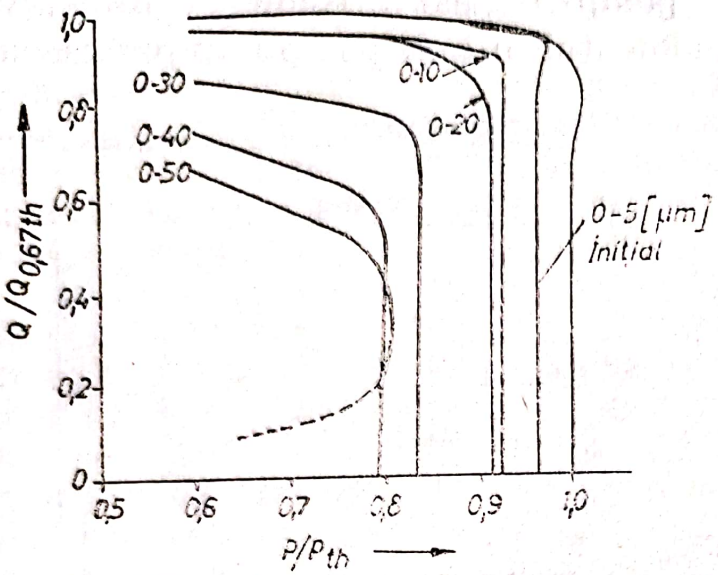


Fig. 5.26. Influența contaminării asupra caracteristicii de reglare a pompei cu regulator.

În fig. 5.27, *a*, sînt prezentate curbele care arată modul în care se modifică p/p_{max} în raport cu dimensiunea particulelor prezente în instalație pentru mai multe tipuri de pompe *A*, *B*, *C*, *D*, cîte două identice pentru fiecare tip ($A_{1,2}$ etc.), și care au fost încercate în același mod cu excepția lui B_3. Cu mici excepții, datorate, în parte, și unor defecte apărute pe durata experimentărilor, curbele arată o

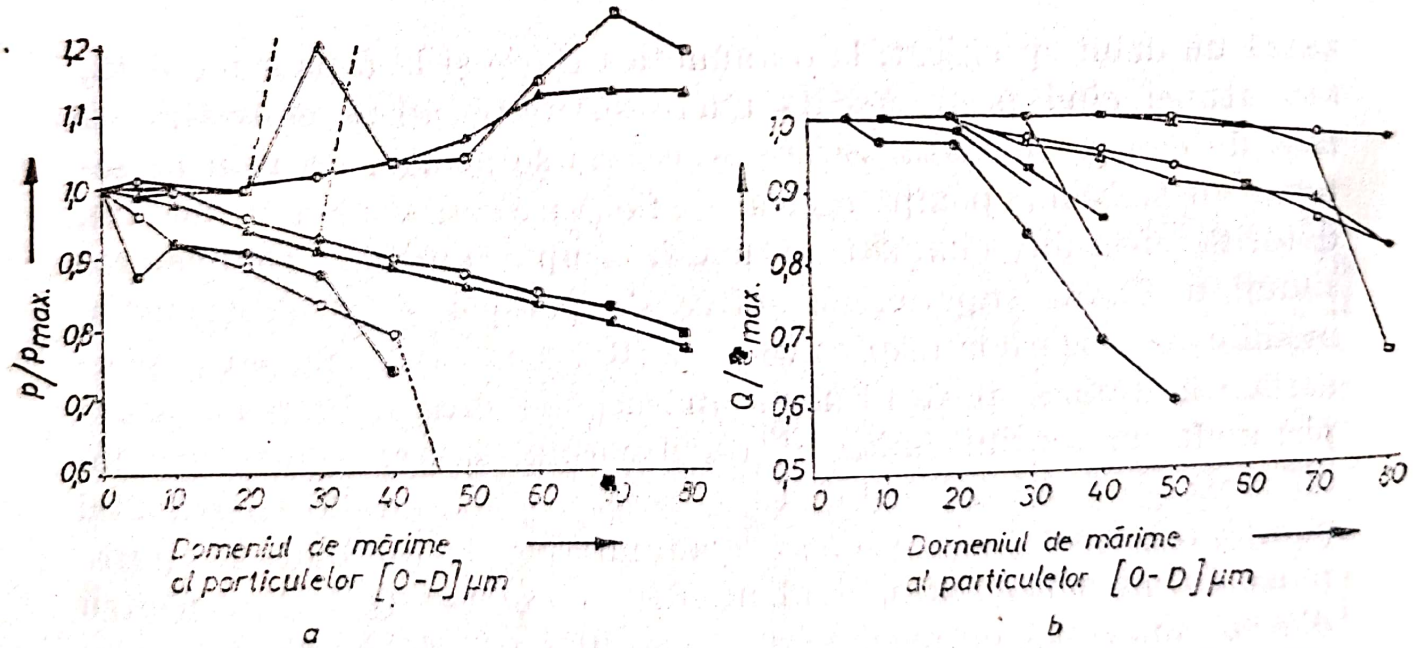


Fig. 5.27. Influența dimensiunii particulelor asupra presiunii și debitului la pompa cu regulator.

Scanned with OKEN Scanner

scădere a presiunii p/p_{max}, cu creșterea domeniului de mărime a particulelor. Aceeași alură scăzătoare o au și curbele din fig. 5.27, *b*, care arată modificarea debitului normat, Q/Q_{max}, în raport cu domeniul de mărime a particulelor.

5.3.4. Sensibilitatea la contaminare a motoarelor hidraulice rotative

Datorită asemănării funcționale și constructive dintre (m)otor (h)idraulic (r)otativ și pompa echivalentă, motorul este un element sensibil în aceeași măsură la prezența contaminanților în lichidul care îi este transmis de instalație. O anumită diferență apare, însă, în ceea ce privește caracteristica ce suferă modificări. La MHR, ceea ce interesează, este, în principal, scăderea turației/vitezei unghiulare la alimentarea cu debit constant.

Metodologia de încercare se realizează cu o instalație ca cea din fig. 5.28 și constă în trimiterea unui debit constant Q_M către motorul de încercat de la o pompă PHR_1, insensibilă la contaminant (pentru disocierea influențelor). *MHR* de testat rotește, la rîndul său, o altă pompă PHR_2, încărcată printr-un drosel, *DR*, și care asigură funcționarea la sarcină constantă a motorului de testat (se neglijează, evident, efectul neuniformității capacităților celor trei unități). Etapele de încercare urmează aceeași succesiune cu cele prezentate pentru pompă (v. fig. 5.7). Pe figură s-au mai notat cu : *DB*, distribuitor cu bilă ; *M*, manometru ; *T*, termometru ; *T,Q*, traductor de debit ; *SC*, schimbător de căldură ; *FA*, filtru de aer ; *SRP*, supapă de reducere a presiunii ; *Rz*, rezervor. Testul se consideră terminat în momentul în care turația normată atinge valoarea de 0,7 sau cînd testul cu particulele din domeniul maxim de mărime 0—80 μm a fost terminat. Pentru fiecare interval de mărime, instalația de testare funcționează 9 minute.

Dintre parametrii studiați în cadrul experimentărilor se urmărește :

— variația raportului ω_r/ω_{th}, dintre frecvențele de rotație reală și teoretică a motorului, atunci cînd i se trimite un debit constant Q_M de către pompa PHR_1, în funcție de distribuția de particule contaminante constituite în grupe de mărimi 0—10 μm ; 0—20 μm etc. Încercările se fac la diferite presiuni de lucru. Rezultate ale tes-

Scanned with OKEN Scanner

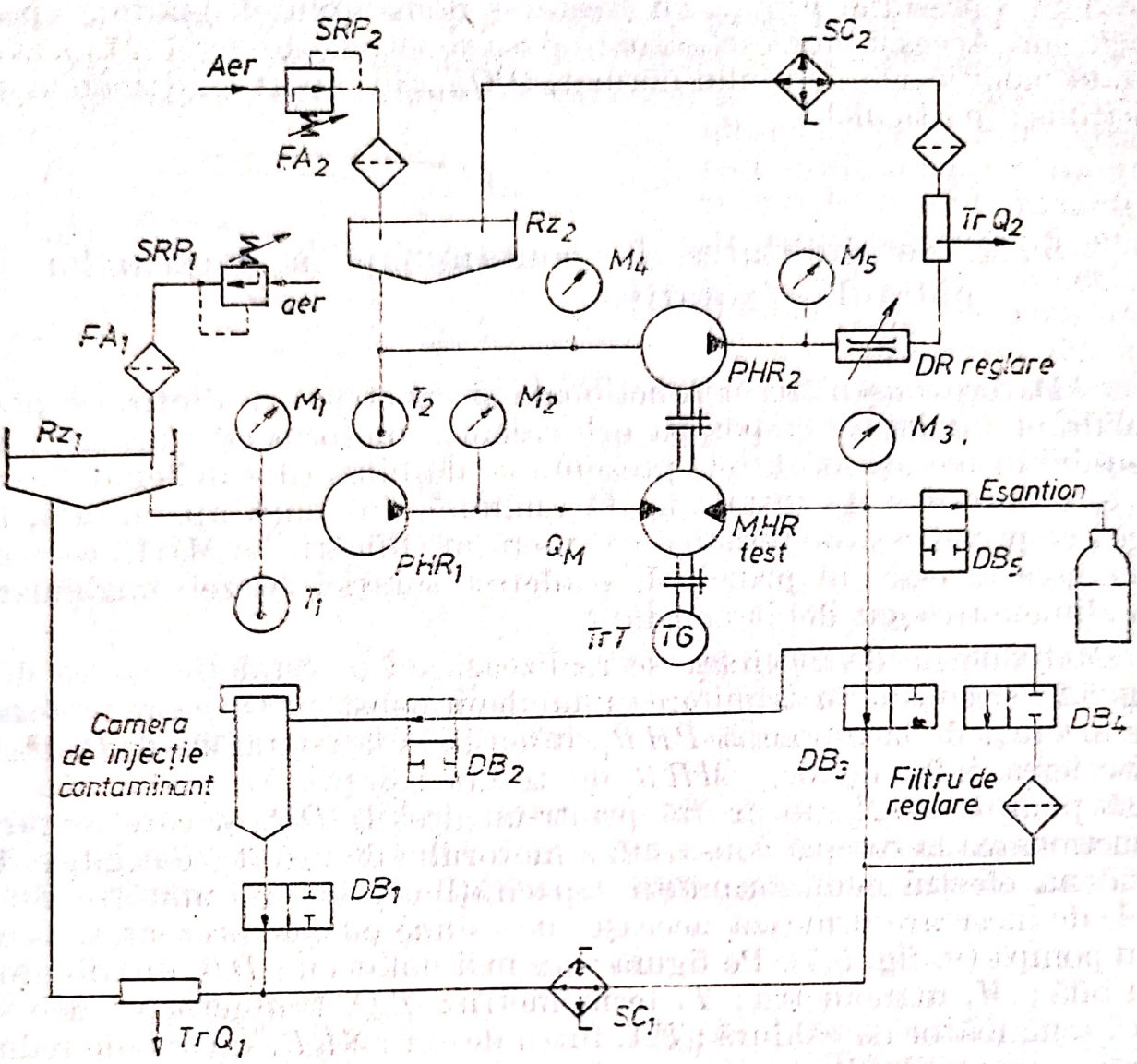


Fig. 5.28. Schema instalației hidraulice pentru studiul sensibilității la contaminare a MHR

telor efectuate, după metodologia arătată, de Fitch, E. C. [29], sînt prezentate în fig. 5.29 și 5.30;

— creșterea de debit Q_r/Q_{th} necesară motorului pentru compensarea scăderii de turație datorată uzurii motorului, test ce nu este prezentat în fig. 5.28. În acest scop, este necesară o buclă de reacție electrohidraulică și servoacționare la pompă cu capacitate reglabilă;

— pierderea hidraulică de debit, datorată creșterii uzurii prin acțiunea contaminanților;

— pierderea de cuplu.

Scanned with OKEN Scanner

Din analiza graficelor din fig. 5.30, rezultă, în principal, următoarele concluzii :

— uzura este crescătoare, cu creşterea dimensiunii particulelor contaminante ;

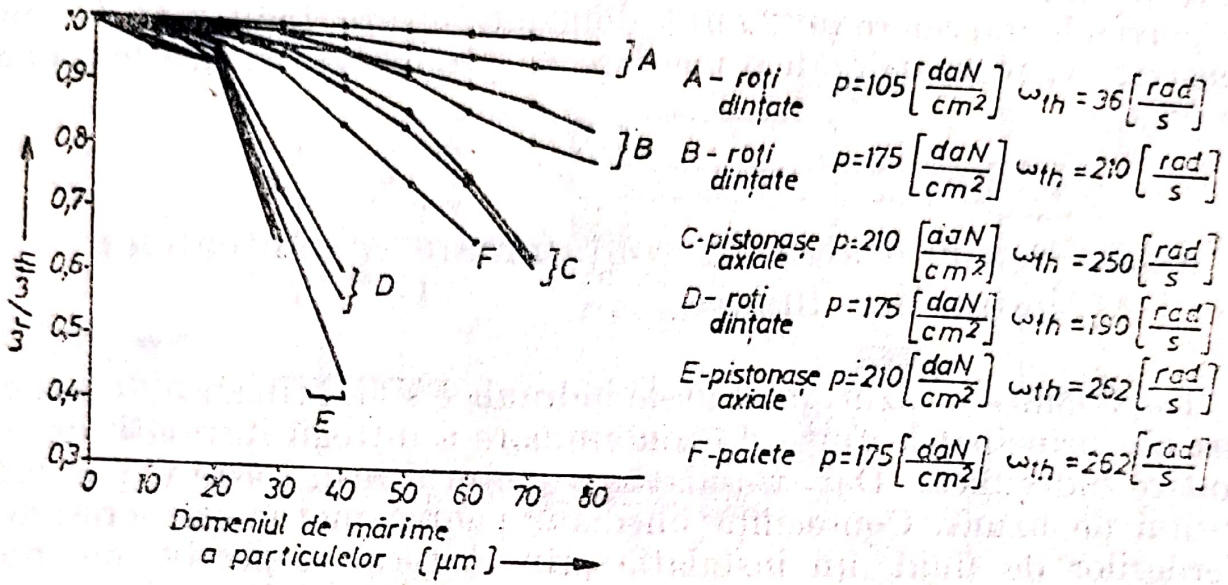


Fig. 5.29. Grafice conţinînd degradarea caracteristicii mecanice a MHR la diferite mărimi de contaminant.

— în linii mari, motoarele cu pistonaşe axiale sînt mai sensibile la uzură datorată contaminantului ;

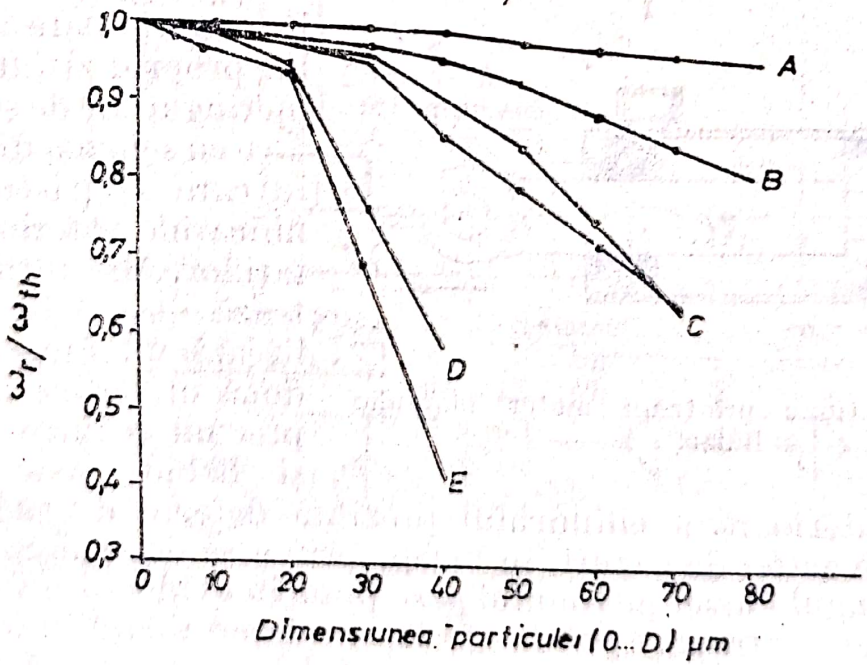


Fig. 5.30. Grafice conţinînd degradarea caracteristicilor de debit şi presiune la MHR în funcţie de mărimea particulelor contaminante.

— creșterea presiunii de lucru accentuează procesul de uzură pentru contaminare cu particule în același domeniu de mărime;
— creșterea turației accelerează, și ea, procesul de uzură.

Pentru creșterea performanțelor motoarelor hidraulice rotative, se recomandă ca instalației să i se asigure, prin filtrare, un domeniu de particule inferioare lui 20 μm, domeniu în care, indiferent de tipul constructiv, motoarele au o pierdere de proprietăți statice mai mică de 5%.

5.3.5. Sensibilitatea la contaminare a motoarelor hidraulice liniare

După cum s-a văzut, motoarele hidraulice sînt, prin etanșarea tijei, una din principalele surse de contaminare a întregii instalații de acționare hidraulică. Dar, totodată, și motorul însuși este expus procesului de uzură. Consecința imediată pentru motor este creșterea pierderilor de fluid din instalație prin motorul respectiv, mergînd cantitativ pînă la 170 [ml/1000 cicluri]. O dată ajunse în camera motorului, particulele se depun și se adună pe pereții acesteia. O altă parte este antrenată de instalație. Pe secțiunea prin motorul hidraulic cu tija unilaterală din fig. 5.31, se poate urmări poziția elementelor de etanșare asupra cărora acționează uzura.

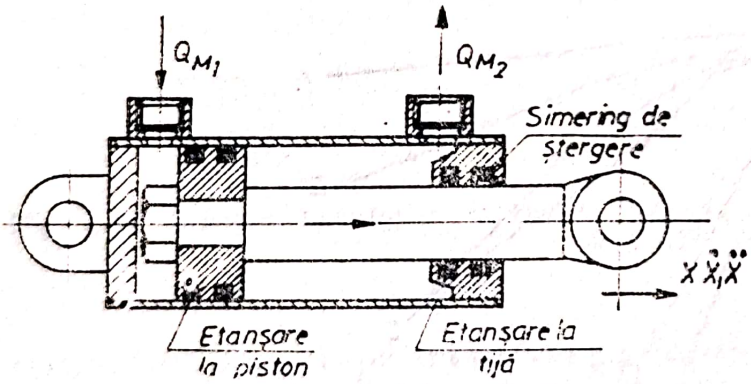


Fig. 5.31. Secțiune printr-un motor hidraulic liniar.

Încercarea sensibilității la contaminare a motorului propriu-zis, datorită simeringurilor de ștergere, se face cu schema din fig. 5.32, în care se păstrează semnificațiile anterioare ale notațiilor. Mai întîi se montează etanșările și se analizează interacțiunea celor două materiale în contact, precum și între elastomer și lichid. Este știut că suprafața interioară a cilindrului prezintă defecte de rugozitate și de formă. În astfel de cazuri, se începe prin a se determina pierderile statice în lungul cursei pistonului și se pune în evidență o valoare medie ce se poate extrage, apoi, din valoarea determinată în regim dinamic. Pierderile se măsoară după ce instalația este lăsată să lucreze minim 1000 cicluri.

Scanned with OKEN Scanner

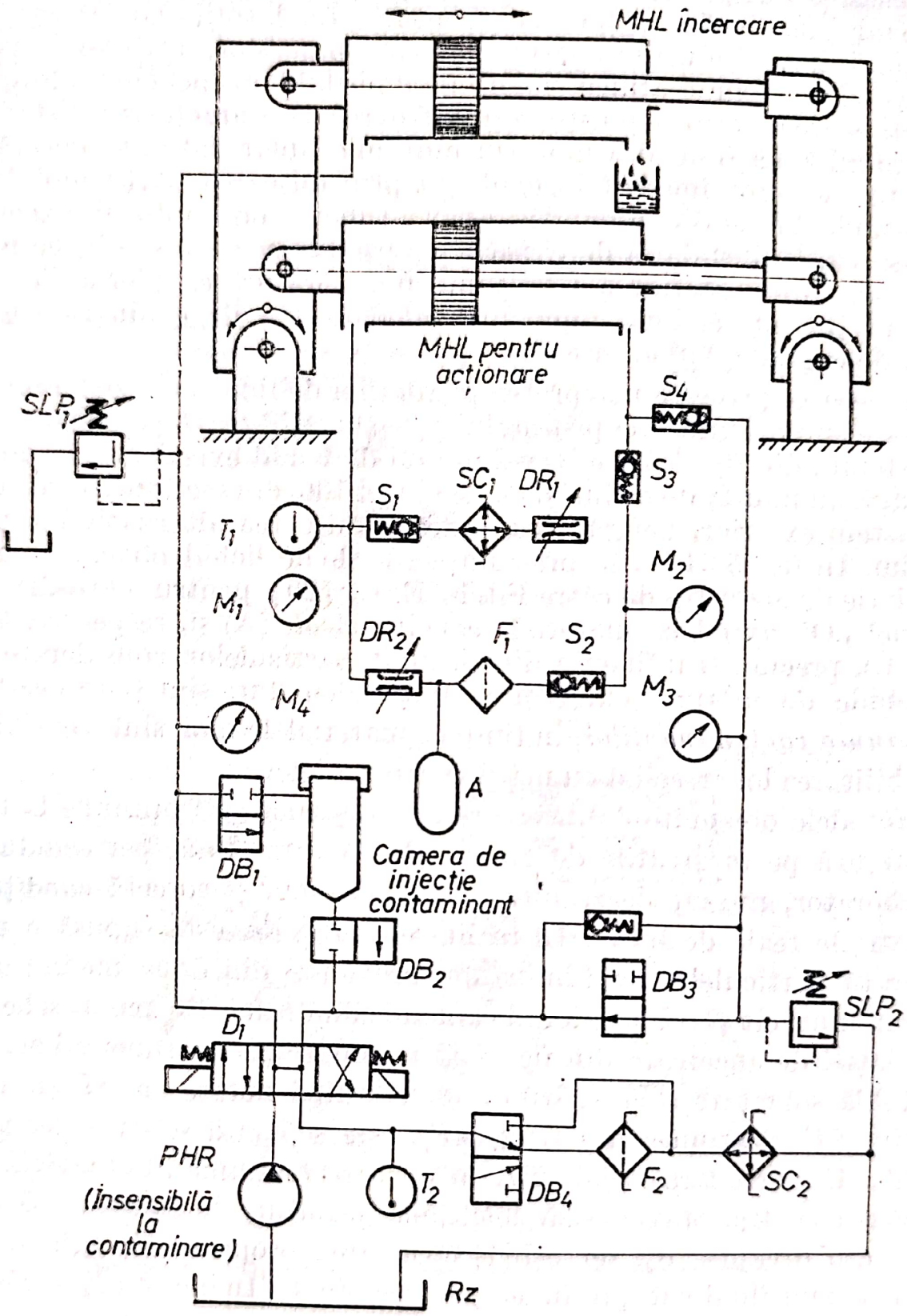


Fig. 5.32. Schema instalației pentru încercarea motoarelor liniare la uzura simeringului de ștergere.

Scanned with OKEN Scanner

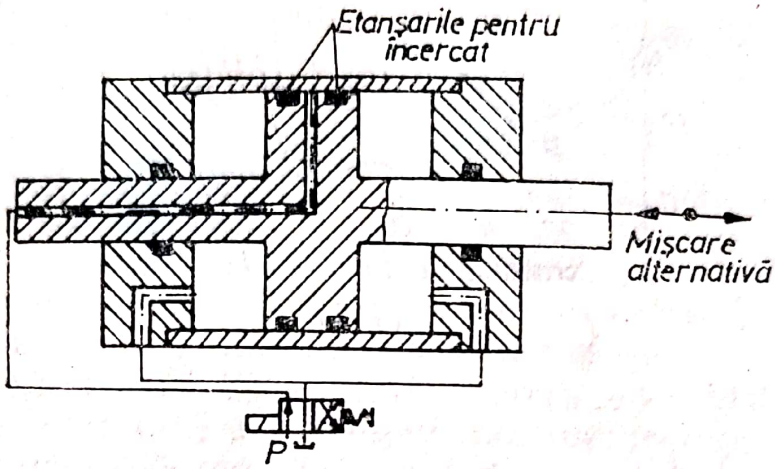
Testarea comportării etanșărilor la piston și la tijă se face separat cu instalațiile din fig. 5.33. Orice garnitură are, datorită construcției și funcționării sale, o uzură continuă și, corespunzător, o scădere a performanțelor. Uzura atinge valori inadmisibile atunci cînd motorul nu mai poate menține o poziție reținută oarecare. Caracteristica statică a pierderilor de fluid din motorul hidraulic liniar datorate etanșării la piston se pune imediat în evidență prin mișcarea părții mobile a motorului. Pierderile dinamice apar atunci cînd motorul execută deplasarea. În instalația de experimentare, acest lucru se obține prin deplasarea din exterior a tijei motorului. Măsurarea pierderilor de fluid în [m^3/nr. cicluri] reprezintă modalitatea de evaluare a gradului de degradare al etanșării.

În ceea ce privește măsurarea pierderilor de fluid prin sistemul de etanșare sub presiune ale pistonului, aceasta se bazează pe măsurarea, cu sistemul din fig. 5.33, *a*, a volumului de lichid excedentar acumulat după un număr de cicluri dat, de obicei 100, din secțiunea centrală. Un sistem exterior, nefigurat, realizează mișcarea alternativă a pistonului. În fig. 5.34, *a*, se prezintăpierderile de lichid obținute cu o instalație de acest tip de către Fitch, E. C. [29] pentru etanșări de tip inel „O" avînd ca materiale cauciuc *moale* (A) și, respectiv, *tare* (B și C), precum și influența dimensiunii particulelor considerate în domeniile de mărime cunoscute. Materialele dure sînt și *insensibile la acțiunea contaminanților*, în timp ce materialele moi sînt sensibile, sensibilitatea lor crescînd cu mărimeaparticulelor.

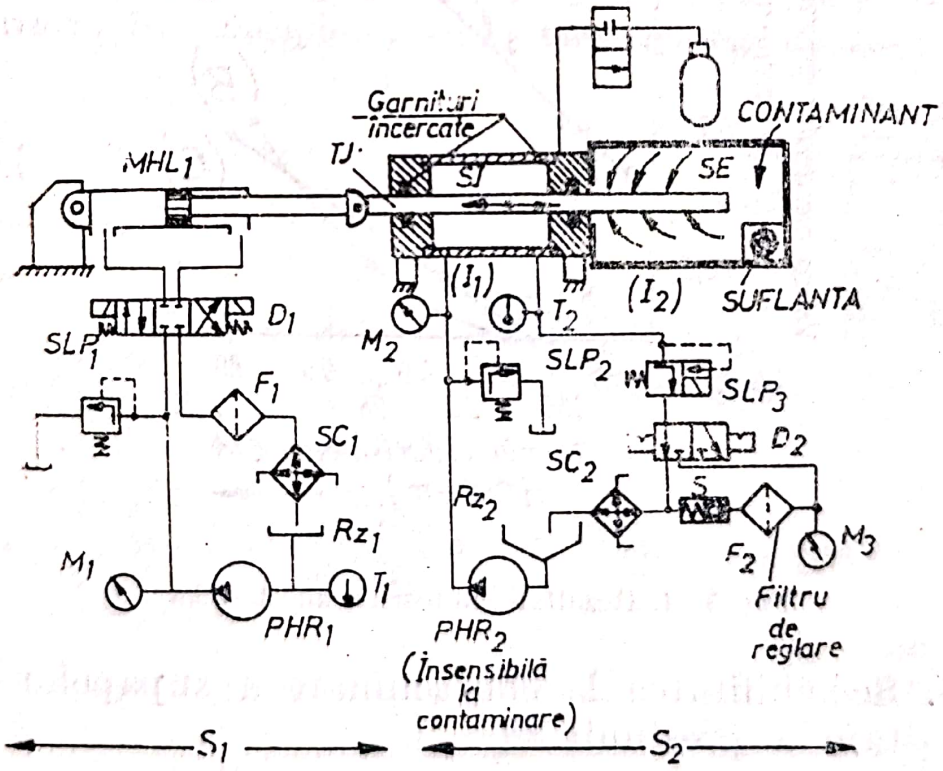
Metodele obișnuite de încercare a etanșărilor sub presiune la tijă se bazează pe încercările de anduranță. Acestea însă, petrecîndu-se în laborator, nu simulează într-o măsură exactă și corectă condițiile industriale reale de lucru. În realitate, etanșarea este supusă uzurii datorată particulelor contaminante, provenite din două medii : atît cel ambiant, cît și cel interior al camerei cilindrului. De aceea, schema instalației de încercare din fig. 5.33 *b* simulează experimental această dublă solicitare a etanșărilor, sursele fiind notate cu *SI* și, respectiv, *SE*. Secțiunea din stînga, S_1, este separată și servește, prin MHL_1, la antrenarea tijei, *TJ*, în mișcare rectilinie alternativă. În mișcarea ei, tija traversează cele două garnituri de etanșare. Secțiunea din dreapta, S_2, servește la încercarea propriu-zisă, prin menținerea unui fluid sub presiunea p în incinta I_1. În incinta I_2 se găsește contaminantul. Incinta I_1 mai servește și la cunoașterea și reglarea nivelului de contaminare a lichidului din secțiunea S_2, contami-

Scanned with OKEN Scanner

nant ce pătrunde prin etanșare, din I_1 în I_2. În fig. 5.34, *b*, sînt prezentate rezultatele încercărilor la care au fost supuse trei garnituri diferite (*A*, *B*, *C*). Pierderile dinamice sînt prezentate prin viteza de pierdere.



a



b

Fig. 5.33. Schemele instalațiilor pentru determinarea pierderilor dinamice de fluid prin etanșările de presiune ale MHL.

Scanned with OKEN Scanner

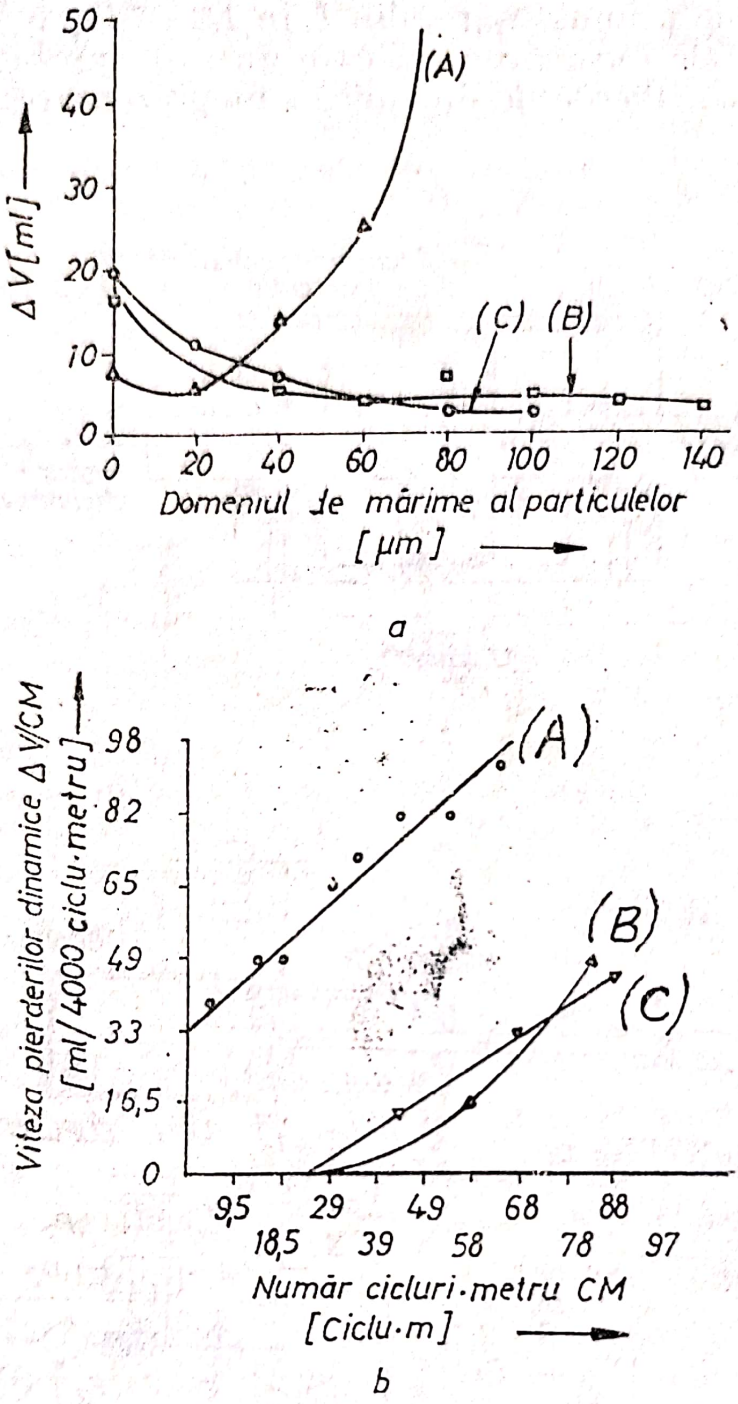


Fig. 5.34. Rezultate numerice ale testelor.

5.3.6. Sensibilitatea la contaminare a supapelor de limitare a presiunii

Majoritatea supapelor de limitare a presiunii (*SLP*) au ca element mobil de închidere o piesă cu suprafață conică sau sferică, presată pe un scaun conjugat. Este surprinzător să arătăm că s-a constatat

Scanned with OKEN Scanner

că ansamblul respectiv este generator de particule. Totodată, secțiunea de trecere este, adeseori, de ordinul sutimilor de milimetru și, drept urmare, ambele suprafețe sînt supuse eroziunii datorită contaminantului, în general în mod neregulat. În consecință, traiectoriile particulelor fluide suferă importante modificări, fapt care se reflectă, implicit, asupra ambelor componente, staționară și tranzitorie ale forței hidrodinamice de impuls, [39, 49, 59], și, prin aceasta, asupra echilibrului de forțe la nivelul elementului mobil.

O primă consecință hidraulică a procesului de uzură constă, după cum se va vedea, în alterarea caracteristicii staționare debit-presiune. Apare totodată un hysterezis între caracteristicile statice, la deschidere și la închidere. În același context trebuie arătat că și presiunile de deschidere și de reglaj își modifică valorile, cu atît mai mult cu cît concentrația de contaminant în lichidul de lucru și domeniul de mărime al particulelor sînt mai mari.

În ceea ce privește *SLP* pilotate, la acestea procesul de uzură a canalelor capilare, care dirijează lichidul spre supapa pilot și de la aceasta spre supapa principală, modifică pierderile de presiune în acestea și, în consecință, afectează echilibrul forțelor și caracteristica de deschidere.

Pentru încercarea sensibilității *SLP* la contaminare, se poate folosi o schemă hidraulică ca cea din fig. 5.35. Pentru experimentare, se păstrează, în principiu, aceeași metodologie ca cea prezentată

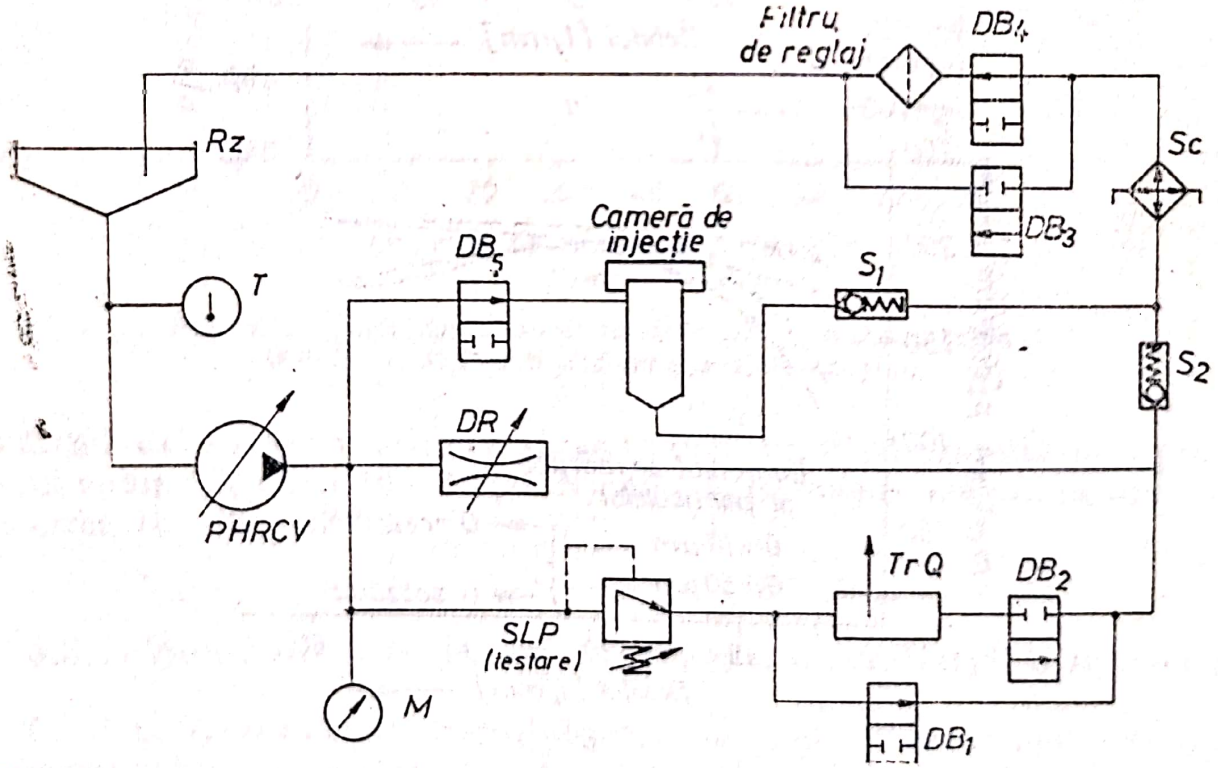
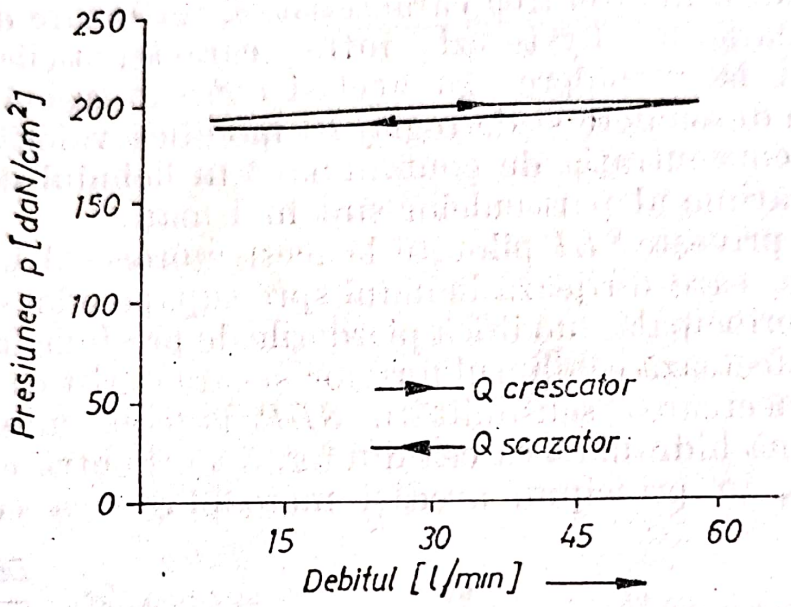


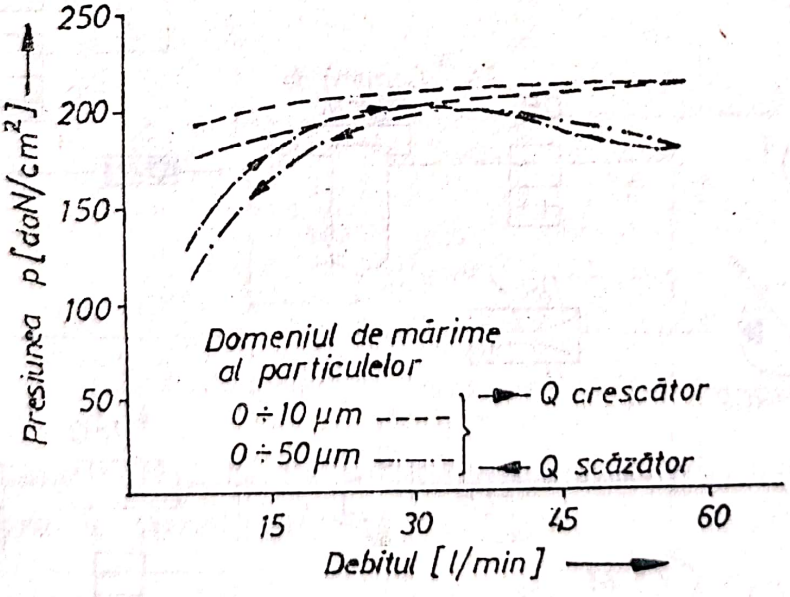
Fig. 5.35. Schema instalației pentru determinarea sensibilității la contaminare a supapelor de limitare a presiunii.

pentru pompe. Se introduce contaminant în cantitate/distribuţie precizată; se lasă instalaţia să funcţioneze timp de 10 min (încărcarea se face prin drosel, iar DB_3 este închis, ca şi DB_1); se trece lichidul prin filtrul de reglaj şi se curăţă; se măsoară Q, p pentru funcţionarea supapei cu lichid curat; se reia ciclul introducînd o nouă cantitate de contaminant.

În fig. 5.36, *a*, se prezintă caracteristica statică $p - Q$ a *SLP* şi hysterezisul său în absenţa contaminantului. Sub acţiunea



a



b

Fig. 5.36. Modificarea caracteristicii statice la supapele de limitare a presiunii sub acţiunea contaminanţilor.

Scanned with OKEN Scanner

uzurii, caracteristicile se modifică așa cum se arată în graficele din fig. 5.36, *b*, în mod diferit, pentru diferite distribuții de mărime de particule. Se remarcă, în primul rînd, că sensibilitatea la contaminare a *SLP* este mai mare pentru prima porțiune a caracteristicii (*Q* mici) în raport cu cea de a doua porțiune (*Q* mari), explicabil, de altfel, prin ponderea perturbației de forțe la deschideri mici ale supapei. În al doilea rînd, constatăm creșterea sensibilității *SLP* cu creșterea nivelului de contaminare.

Fig. 5.37 prezintă variația presiunii de reglaj, p, exprimată în mărime normată prin p_{max}, în raport cu domeniul de mărime al particulelor contaminante, la trei niveluri diferite de contaminare. Se constată, în afară de o degradare a performanțelor o dată cu creșterea dimensiunii particulelor, diferită și neuniformă în raport cu nivelul de contaminare, o comportare instabilă (staționar) pentru concentrație > 300 mg/l și $d_n > (0-40)$ μm. Și presiunea de rupere, neprezentată, are o evoluție asemănătoare ca presiunea de reglaj și aceeași instabilitate. La aceasta se ajunge, pentru excitarea în frecvență cu

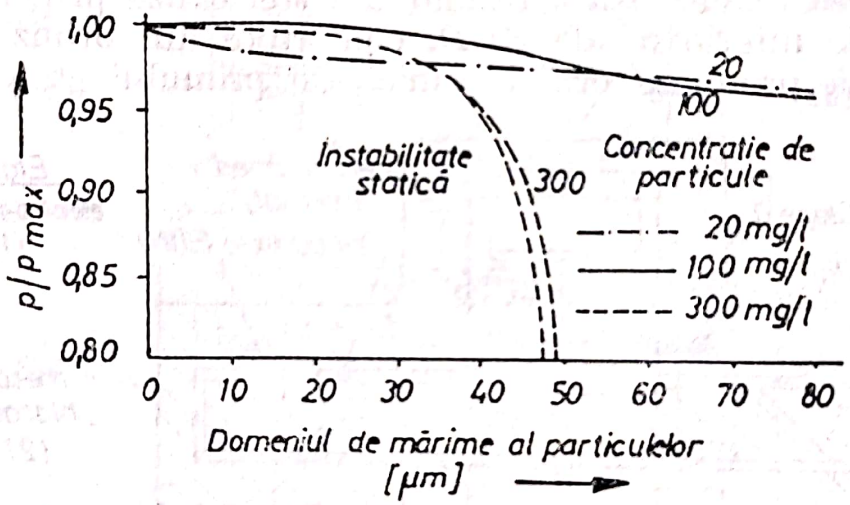


Fig. 5.37. Modificarea presiunii de reglaj și instabilitatea statică a SLP sub acțiunea contaminanților.

mărime de intrare-presiunea și ieșire-debitul, dînd amplitudinii presiunii valorii de circa 40—45 [daN/cm²], la frecvențe proprii pe durate de circa 10—30 secunde.

5.3.7. Sensibilitatea la contaminare a servodistribuitoarelor

5.3.7.1. **Generalități.** Sensibilitatea servodistribuitoarelor (*SVD*) — servo valve în l. engleză — la acțiunea contaminanților a constituit subiectul unor viguroase preocupări. Prin complexitatea lor, da-

Scanned with OKEN Scanner

torată prezenței în construcția și funcționarea lor a numeroase elemente grupate în *etaje* (*electromecanic*, *mecanohidraulic* și *hidraulic*), prin nivelul jocurilor (de la 1 la 10 μm) și prin valorile mici ale deplasărilor elementelor ce creează orificiile de control (de la 15 la 30 μm), comparabile cu dimensiunile unora dintre particulele poluante, *SVD* sînt, fără îndoială, elementele *IAH* cele mai expuse la acțiunea contaminanților. Este evident faptul că prezența unei *SVD* într-o instalație impune măsuri suplimentare, mai restrictive, de filtrare, în special în ceea ce privește dimensiunea particulelor.

Problema trebuie privită și în sensul evoluției ei. La începutul utilizării *SVD*, problema contaminării, exista, cu adevărat, din cel puțin două motive :

a) majoritatea sistemelor hidraulice erau, ele însele, murdare cu impurități și problema filtrării era neglijată sub nivelul a 60—80 μm și 200 mg/l contaminare ;

b) prima generație de *SVD* a fost concepută inadecvat pentru a funcționa în mediul lichid contaminat.

Proiectarea inadecvată a rezidat din trei cauze principale :

1) Filtrele interioare ale *SVD*, construite din bronz sinterizat, desemnate să protejeze orificiile mici ale primului etaj (fig. 5.38,

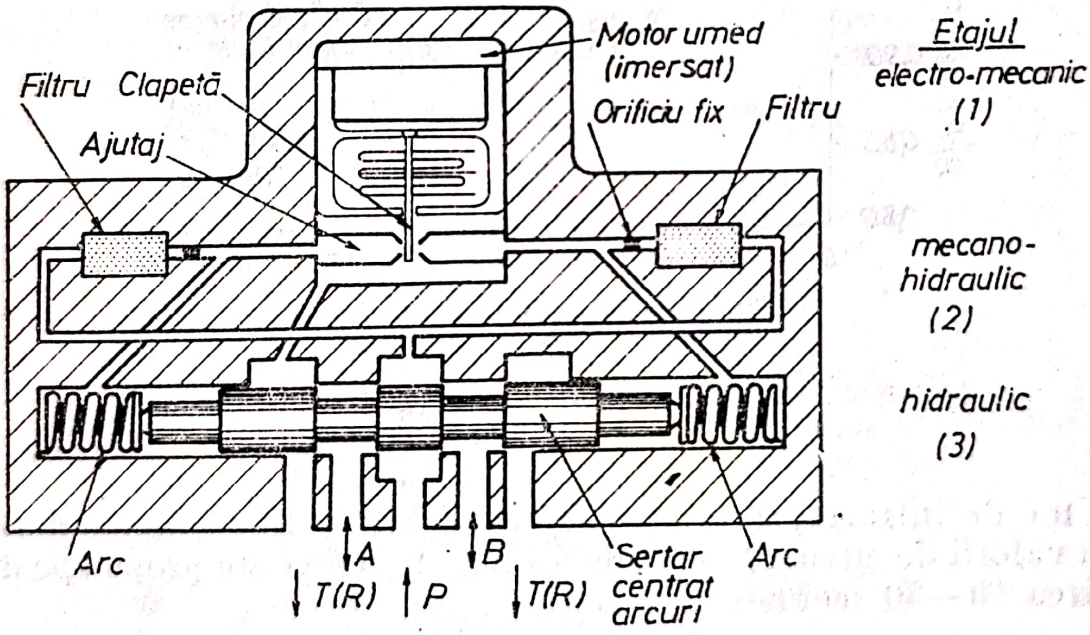


Fig. 5.38. Schema unui SVD „umed" din prima generație.

mecanohidraulic, ajutaj-clapetă, au fost ineficiente în anumite condiții. Filtrul sinterizat, folosit inițial, a fost singura soluție în acel moment. Datorită îmbîcsirii lor, ca filtre de profunzime, căderea de presiune Δp pe ele devine tot mai mare în timp. Din această cauză,

Scanned with OKEN Scanner

există pericolul migrării particulelor reținute ca și ale filtrului însuși. Acest lucru a determinat scoaterea din funcționare.

2) Construcția *motorului* așa-zis umed, adică imersat în uleiul din instalație, purtător de particule contaminate, inclusiv magnetice. Acestea se colectează pe magneții motorului și îi modifică hysterezisul, iar în cantități mari blochează jugul mobil al acestuia.

3) Valoarea scăzută a forței create de etajul (*2*) asupra sertarului din etajul (*3*), fapt care permite înțepenirea acestuia din urmă.

Ca urmare a celor arătate, producătorii de *SVD* au reacționat la aceste cauze de defectare (și la alte nevoi, de natură dinamică, mai ales) și au creat noi modele care să anuleze cele trei categorii de sensibilități la contaminare. S-a ajuns, astfel, la o nouă generație de servodistribuitoare. În fig. 5.39, se prezintă o *SVD* dintr-o astfel de

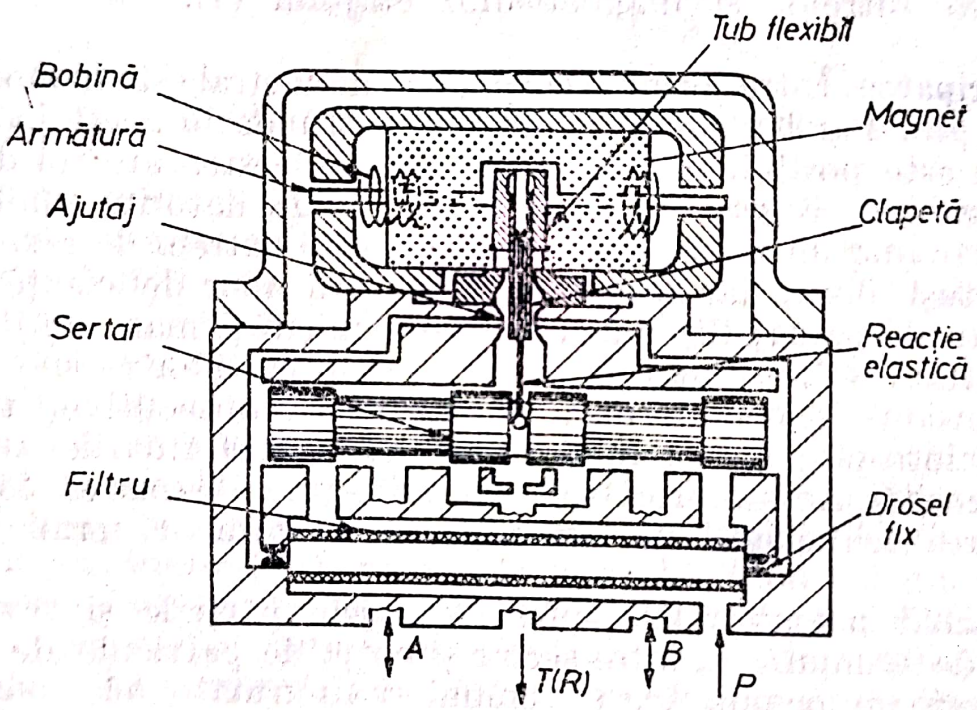


Fig. 5.39. Schema unui SVD „uscat" din generația a doua.

generație evoluată. Semnalăm, ca elemente importante ale acestui nou model, în raport cu deficiențele semnalate: izolarea etajului electromecanic de fluidul de lucru, contaminat; modificarea sistemului de filtrare prin introducerea unui filtru micronic unic pentru ambele ajutaje și îmbrăcarea filtrului într-o placă de oțel (filtru ecran) care reține particulele mari antrenate, totuși, de fluid; introducerea reacției interne mecanice între etajele (*2*) și (*3*). Aceste măsuri au eliminat, în mod categoric, cea mai mare parte a cauzelor de conta-

Scanned with OKEN Scanner

minare externă ce au constituit, multă vreme, cauza defectării servo-distribuitoarelor.

Cu toate acestea, au rămas, în continuare, două probleme :

a) creşterea uzurii ansamblului ajutaj-clapetă şi a muchiilor de control la sertar şi la corp, datorate, ambele, prezenţei particulelor contaminante din lichid ;

b) defectări datorate contaminării cu particulele prezente în instalaţie. În ansamblul problematicii de defectare a *SVD*, aceste două cauze de defectare sînt, totuşi nesemnificative, reprezentînd 0,07—0,15% dintr-o cazuistică de 12 953 unităţi [70].

5.3.7.2. **Consecinţele acţiunii contaminanţilor.** Contaminanţii acţionează asupra *SVD*, provocînd gripajul, eroziunea, înfundarea şi colmatarea filtrelor şi magnetismul etajului (*1*).

a) **Griparea.** Între sertar şi corp, jocul diametral este în mod curent de 3—5 μm. Particulele de 5 μm pot pătrunde în acest joc? Acest lucru nu este posibil, întrucît jocul dintre acestea are rol de filtru. Asta înseamnă că gripajul total al unei *SVD*, datorită contaminanţilor, chiar într-un mediu foarte poluat, este extrem de rar. *SVD* se poate totuşi bloca, dar aceasta se datorează unor deficienţe de concepţie sau de uzinaj (lipsă de duritate, conicităţi mari etc.). Blocări ale sertarului *SVD* se mai datoresc şi : deformaţiilor ce sînt rezultatul detensionării neuniforme ; umflăturilor consecutive, transformărilor alotropice ale oţelului sertarului, transformările austenitei în martensită. Aceste erori sînt evitabile prin desenarea corectă şi respectarea tehnologiei de fabricaţie, de tratament termic sau de montaj.

În lichid poluat, *SVD* suferă gripajele parţiale şi reversibile, cauzate de acumularea, între sertar şi corp, de particule de dimensiuni inferioare jocului. Aceste acumulări au următoarele consecinţe : creşterea zonei de insensibilitate ; creşterea hysterezisului. Cu toate acestea, deteriorarea performanţei este progresivă şi nu apare o pană clară.

b) **Eroziunea.** Fenomenul de uzură, datorată contaminantului din lichid sau nu, este un fenomen *progresiv* şi *ireversibil*. Uzura reprezintă factorul care limitează, în prezent, durata de viaţă a *SVD*. Cît priveşte contribuţia contaminanţilor, aceştia influenţează într-o mare măsură uzura, în special prin densitatea şi prin duritatea lor [v. cap.2]. Uzura afectează mai multe elemente ale *SVD*, între care distribuitorul, ansamblul ajutaj-clapetă şi droselele fixe în special.

Scanned with OKEN Scanner

Uzura distribuitorului se manifestă prin tocirea muchiilor A, B, C, D ale sertarului și, respectiv, A', B', C', D' ale corpului (fig. 5.40). Aceasta provoacă creșterea pierderilor de debit. Muchiile conjugate ale cuplului sertar corp sînt executate cu acoperiri foarte mici ($u \simeq$ 1,15—1,20 μm [35, 70]), pentru a evita neliniaritatea caracteristicii

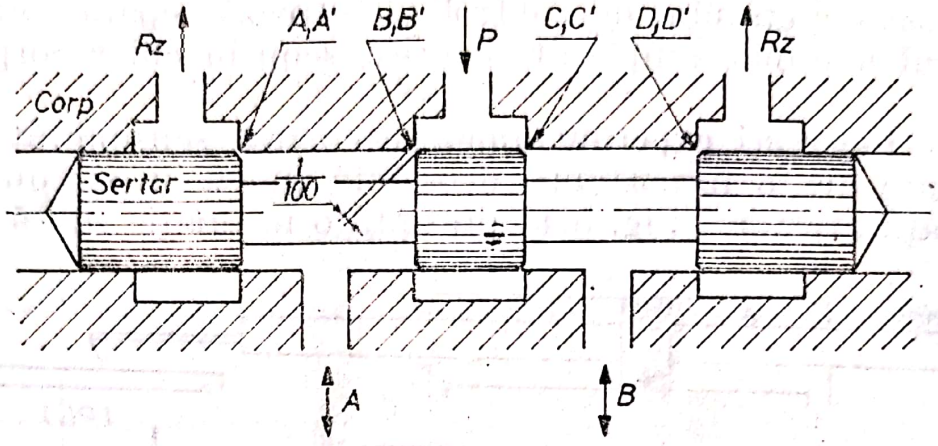


Fig. 5.40. Muchiile din SVD sensibile la uzură.

statice a SVD în jurul lui zero (v. fig. 3.10). Pentru a ne crea o imagine asupra acestei influențe, să presupunem că debitul maxim al SVD este de 500 [cm³/s] pentru o deschidere x a distribuitorului de 0,5 [mm] și avînd o pierdere internă (debitul etajului 2 + scăpări în distribuitor) de 10 [cm³/s]. O uzură a fiecărui ansamblu $A - A'$, $B - B'$ etc. mai mică de 0, 01 [mm] va determina o dublare a pierderilor interne de debit (20 cm³/s).

Uzura la nivelul etajului 2 se manifestă, atît asupra orificiului ajutajului, asupra paletei, cît și asupra droselului fix. Cît privește SVD, cu jet fluidic [70], uzura afectează în egală măsură jigleurul și receptorul. Consecințele uzurii la nivelul etajului 2 sînt următoarele: creșterea pierderilor interne de debit; deteriorarea performanțelor maximale, cînd presiunea limitează valorile maxime ale presiunii de comandă ce acționează, asupra etajului 3; apare derivă de zero a SVD, în cazul uzurii asimetrice.

Nivelul uzurii este limitat de duritatea suprafețelor elementelor afectate. Astfel se practică nitrurarea ionică, aplicabilă oțelurilor inoxidabile, atît pentru sertar, cît și pentru cămașă/corp.

c) **Înfundarea și astuparea filtrelor** reprezintă defecțiuni ce dau multe probleme în exploatarea SVD. Date fiind nivelul presiunilor de lucru (150 ... 300) [daN/cm²], al debitelor maxime întîlnite în majoritatea cazurilor (20 ... 1000) [cm³/s] și necesitatea de a afecta debitul de reglare un mic procent din debitul controlat, diametrele

rezistențelor fixe din etajul de reglare sînt de ordinul a 0,1 ... 0,2 mm. (Debitul printr-o gaură de 0,1 mm diametru și $p = 100$ [daN/cm^2] este de circa 1 [cm^3/s]). Este evident că particula de circa 0,1 [mm] poate bloca această rezistență. Cît privește ansamblul ajutaj-clapetă, aici deplasările relative sînt de ordinul sutimilor de milimetru și sînt expuse înfundării și blocării de particule. Din aceste motive, servo-debitul necesar etajului de control se filtrează separat/suplimentar prin filtrul micronic amplasat în acest scop în chiar corpul *SVD*.

5.3.7.3. **Încercări experimentale.** Încercarea sensibilității *SVD* la contaminare are o importanță deosebită în evaluarea durabilității și fiabilității acestora. Fig. 5.41 prezintă o instalație tipică de încer-

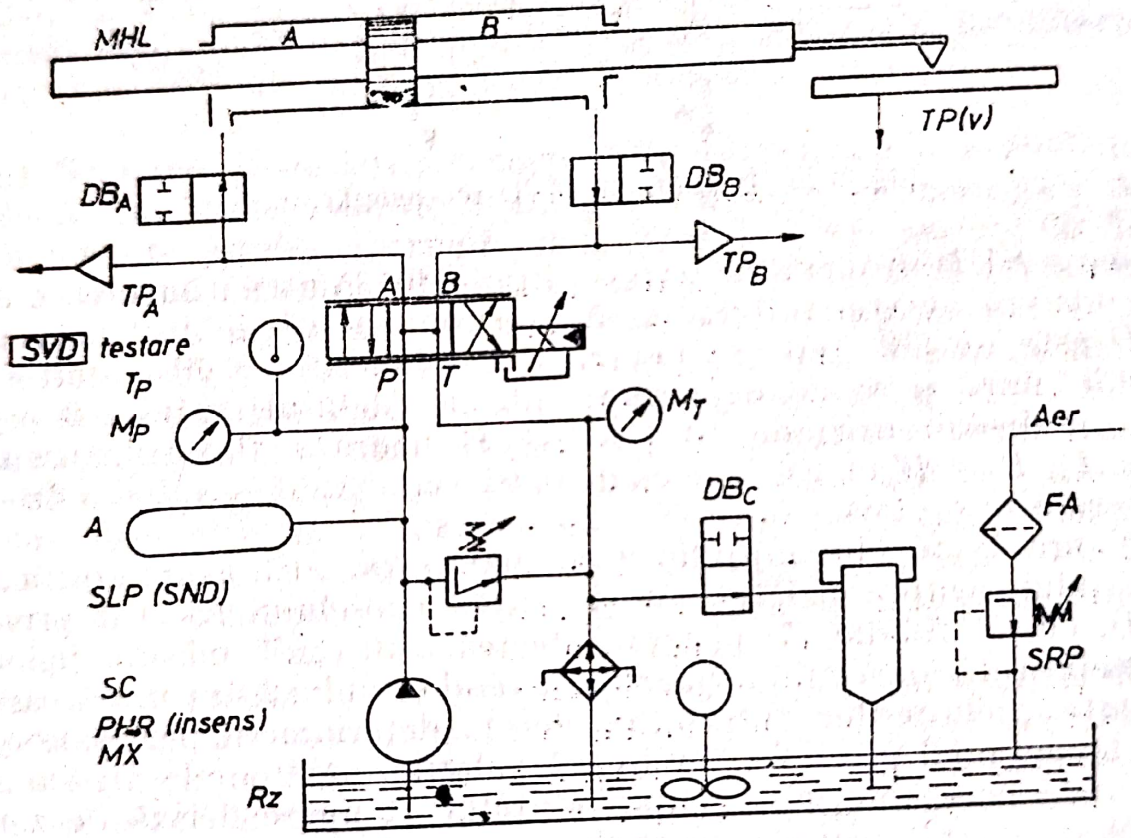


Fig. 5.41. Schema instalației de determinare a sensibilității SVD la contaminare.

care. Utilizînd schema din figură și o metodologie apropiată de cea prezentată în cap. 5.3, se poate determina modificarea tuturor caracteristicilor statice și dinamice ale *SVD* la funcționarea în regim de contaminare. Ca exemplificare, în fig. 5.42 se prezintă variația pragului în raport cu creșterea nivelului de contaminare pe baza testelor efectuate asupra a 24 *SVD* din noile generații, din șase provenințe diferite. Cel mai înalt nivel asigurat a fost în clasa 108 con-

Scanned with OKEN Scanner

form NAS 1638. Din încercările efectuate se desprind următoarele concluzii :

1) În toate situațiile, performanțele *SVD*, la funcționarea în mediu contaminat, depășesc așteptările.

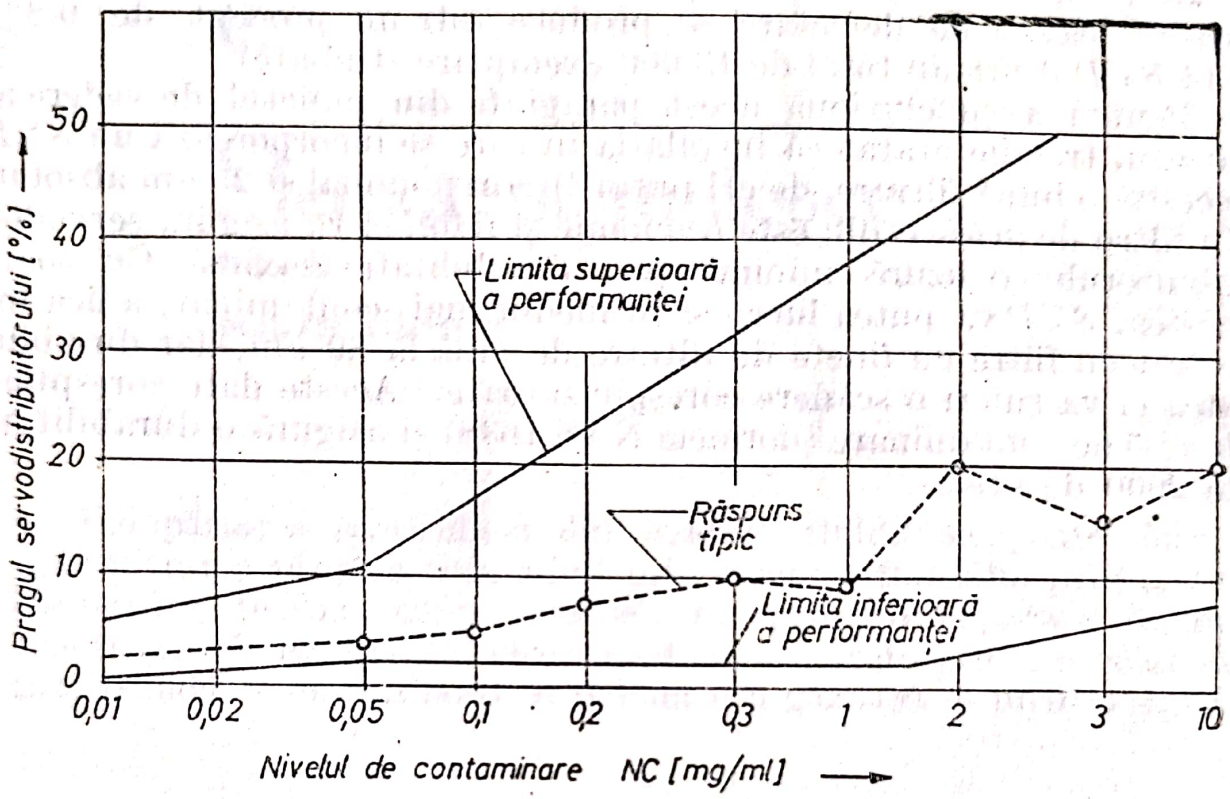


Fig. 5.42. Rezultate ale încercărilor de sensibilitate la contaminare a SVD.

2) Modul de defectare este, în general, următorul : frecarea sertarului din etajul final crește cu creșterea nivelului de contaminare, pînă ce, eventual, se înțepenește. Totodată hysterezisul și suprareglajul cresc o dată cu creșterea nivelului de contaminare.

3) Infundarea orificiilor nu are, în general, loc, datorită debitelor și, mai ales, presiunilor ridicate ale fluidului care le traversează.

4) Defectarea datorită înfundării sau ruperii filtrelor nu se produce, în general.

5) Uzura pieselor de control aflate în contact cu lichidul contaminat se accelerează, iar pierderile interne de debit cresc, corespunzător.

6) Cel mai eficace mijloc de a obține pentru *SVD* performanțe superioare, atunci cînd funcționează în mediu contaminat, este să se asigure sertarului o vibrație. Oscilația asigură funcționarea sertarului în condiții de scădere a jocului și de gripare. Oscilația se obține, fie prin autovibrație, fie pe cale electrică.

Scanned with OKEN Scanner

7) Problema cea mai dificilă constă în a evita blocajele datorate contaminanților rezultați tehnologic și aflați în interiorul *SVD* dincolo de sistemul propriu de filtrare/protecție. Aceste defecte nu depind de nivelul de contaminare a fluidului propriu-zis. Se impune, așadar, un foarte riguros control anterior asamblării. În general, această cauză de defectare se produce într-un procent de 0,8% (114 *SVD* dintr-un total de 13 000 exemplare studiate).

Pentru a concluziona acest paragraf, din punctul de vedere al filtrării, trebuie arătat că instalația în care se incorporează un *SVD* necesită o bună filtrare, de cel puțin 10 μm nominal și 25 μm absolut. Un filtru de acest ordin este economic și fiabil și va asigura servodistribuitorului o uzură minimă și o durabilitate maximă. Cu toate acestea, *SVD* va putea lucra și în mediu mai contaminat, adică înzestrat cu filtre cu finețe de filtrare de pînă la 80 μm, dar durabilitatea ei va suferi o scădere corespunzătoare. Aceste date corespund clasei 5 de contaminare (normele NAS 1638) și asigură o durabilitate de 2000 de ore.

Scanned with OKEN Scanner

6.

Metode și mijloace folosite pentru filtrare

Indepărtarea particulelor din mediile fluide se poate face, fie prin filtrarea propriu-zisă, adică prin trecerea fluidului prin restricții calibrate (site sau medii poroase), fie printr-o separare dinamică (centrifugală, magnetică, electrostatică, electroforetică) a celor două faze (solidă — impurifianți și lichidă sau gazoasă — mediul epurat).

6.1. Filtrarea mediilor hidraulice

Filtrarea este procesul de reținere a particulelor din fluid, prin trecerea acestuia printr-un mediu format cu pasaje (treceri) restricționale.

În funcție de dimensiunea particulei, procesul de filtrare a mediilor fluide poate fi împărțit în:

— macro-filtrare (denumită în general „filtrare"), prin care sînt reținute particule mai mari de 2 μm;

— micro-filtrare, prin care se rețin particule cu dimensiunile de 0,2—2 μm;

— ultra-filtrare prin care se rețin particule cu dimensiunea de 0,2 μm sau mai puțin [21].

Procesul de filtrare presupune folosirea a două mecanisme de bază: filtrarea în profunzime; filtrarea la suprafață.

Scanned with OKEN Scanner

Ambele mecanisme de filtrare presupun existența simultană, cu pondere mai mare sau mai mică pe unul dintre ele, a două fenomene fizice :

— interceptarea directă a particulelor. Aceasta reprezintă o barieră pur mecanică, adică particula este mai mare decît restricția pe care o are de trecut și se oprește în dreptul ei ;

— adsorbția, adică reținerea particulei prin forțe electrostatice sau atracție moleculară de către fibrele mediului filtrant.

6.1.1. Filtrarea în profunzime

Acest mecanism de filtrare este mai complex decît filtrarea la suprafață. Majoritatea mediilor filtrante folosite se bazează pe acest mecanism. Cele două fenomene fizice amintite mai sus acționează în diferite moduri :

— particulele de o anumită dimensiune trec prin pori de dimensiuni mai mari decît dimensiunea lor, ajungînd să fie blocate în avansarea în adîncimea materialului filtrant de un por cu o dimensiune mai mică decît dimensiunea lor ;

— datorită forțelor inerțiale, particulele lovesc fibra și uneori se înfig în ea, fiind reținute, iar alteori o deformează fiind de asemenea reținute ;

— fenomenele de adsorbție duc la atragerea particulelor mici de către fibrele mediului filtrant ;

— mișcarea browniană a particulelor cu dimensiuni de aproximativ un micron sau mai mici, destul de activă la fluidele cu viscozitate mică, face ca aceste particule, migrînd în masa mediului filtrant, prin fenomenul de adsorbție, să fie atrase de către fibră. Fig. 6.1 prezintă sugestiv aceste fenomene într-o secțiune printr-un mediu filtrant.

În cazul mediilor filtrante „în profunzime", fibrele sînt orientate aleatoriu. De aceea și dimensiunile porilor sînt într-o distribuție gaussiană (fig. 6.2).

Deși sînt în strînsă legătură, nu se poate spune că dimensiunea medie a porilor este egală cu finețea nominală de filtrare. De exemplu (fig. 6.3), la o dimensiune medie a porilor de 40 μm, numărul de pori mai mici de 20 μm este aproximativ egal cu numărul de pori mai mari de 80 μm.

Scanned with OKEN Scanner

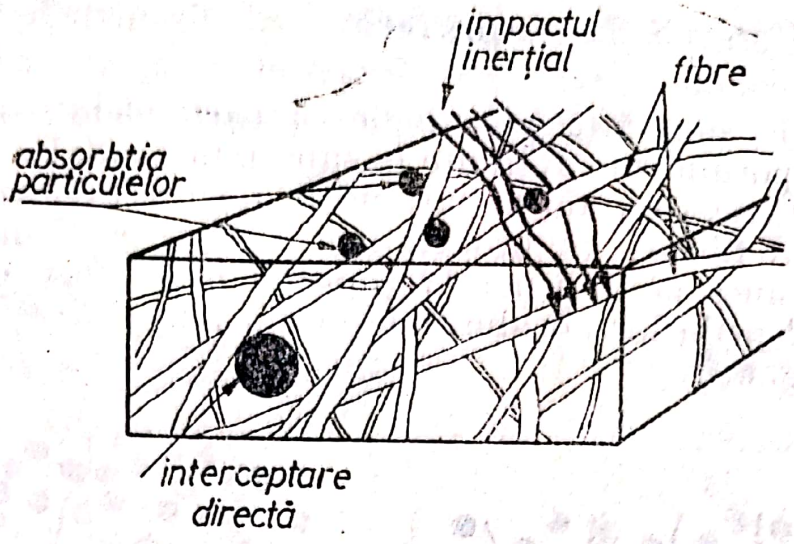


Fig. 6.1. Mecanismul filtrării „în profunzime".

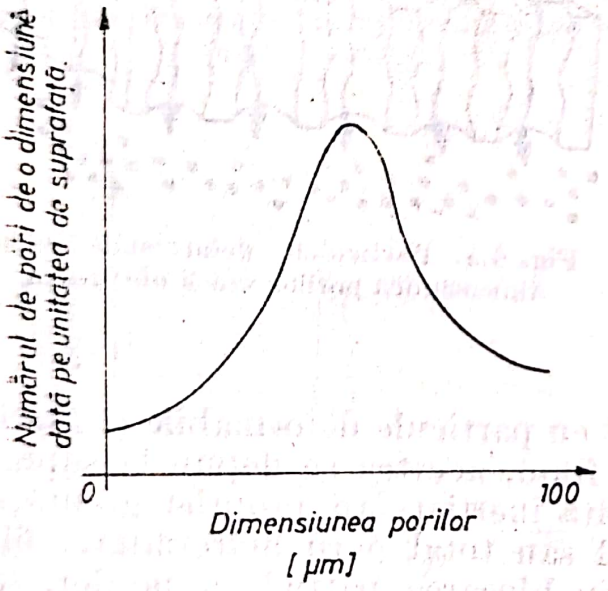


Fig. 6.2. Distribuția dimensională a porilor în cazul filtrării „în profunzime".

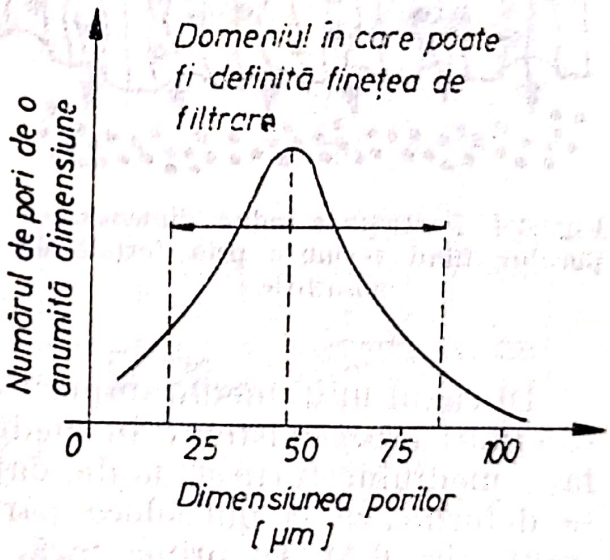


Fig. 6.3. Domeniul în care poate fi definită finețea relativă de filtrare în cazul filtrării „în profunzime".

Mediile filtrante, cărora le este caracteristică filtrarea „în profunzime", sînt :

— fibre (celulozice, textile, fibre de sticlă, împîsliturі);
— pulberi sinterizate;
— împîsliturі și „turte" filtrante.

Scanned with OKEN Scanner

6.1.2. Filtrarea la suprafață

Filtrarea la suprafaţă presupune că particulele mai mari decît dimensiunea porului sînt reţinute la suprafaţa mediului filtrant. Forţele de adsorbţie care reţin particulele mici acţionează mai puţin decît în cazul filtrării în profunzime. Totuşi, particulele mai mici decît dimensiunea porului pot fi reţinute datorită forţelor de adsorbţie în lungul pereţilor porului, micşorînd dimensiunea transversală a acestuia (fig. 6.4).

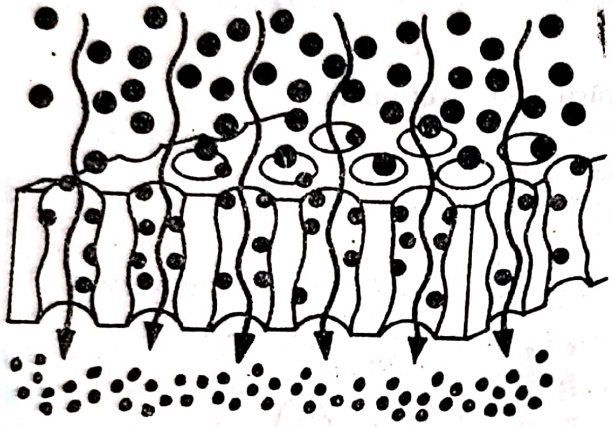


Fig. 6.4. Particulele reduc dimensiunea porului fiind reţinute prin forţele de adsorbţie.

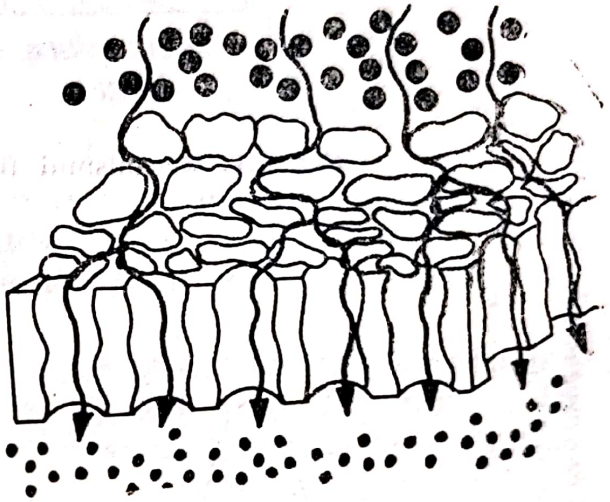


Fig. 6.5. Particulele deformabile reduc dimensiunea porilor sau îi obturează.

În cazul unui mediu impurificat cu particule deformabile (aditivi, săpunuri etc.) existente în mediul fluid, acestea se depun la suprafaţa mediului filtrant, unde, datorită inerţiei sau propriei greutăţi, se deformează şi pot bloca parţial sau total porii materialului filtrant (fig. 6.5). În prima fază, prin blocarea parţială a porilor, se reduce finețea de filtrare, combinîndu-se astfel filtrarea de suprafaţă cu o pseudofiltrare în profunzime.

În cazul în care concentrația de particule este foarte mare, acestea se aglomerează pe suprafața filtrantă (fig. 6.6), formînd un al doilea material filtrant poros, combinînd și de această dată filtrarea de suprafață cu o pseudofiltrare în profunzime. În prima fază, se micșorează finețea de filtrare, crește căderea de presiune, după care materialul filtrant devine opac pentru fluid.

Medii filtrante specifice filtrării de suprafaţă sînt sitele, filtrele bobinate şi filtrele cu lamele.

Scanned with OKEN Scanner

Analizînd distribuţia particulelor în cazul filtrării de suprafaţă tipică (fig. 6.7), se poate observa că distribuţia dimensională a porilor este pe un domeniu mult mai îngust (fig. 6.8).

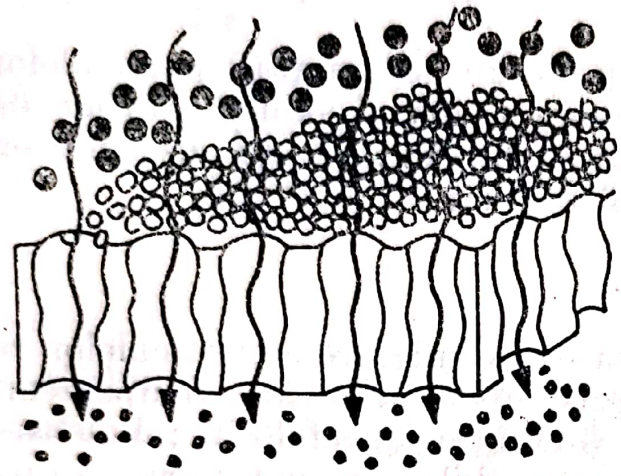


Fig. 6.6. Particulele se aglomerează pe suprafaţa filtrantă.

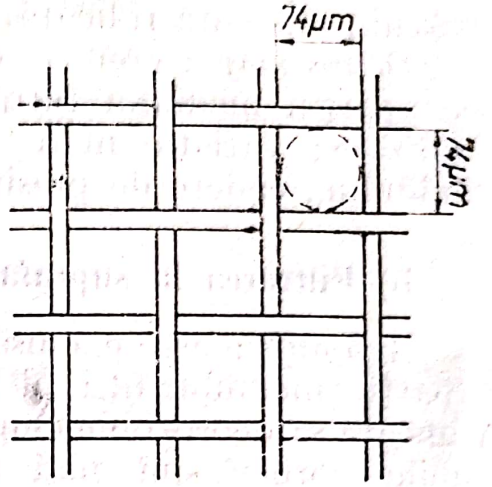


Fig. 6.7. Mediu filtrant tipic pentru filtrarea de suprafaţă.

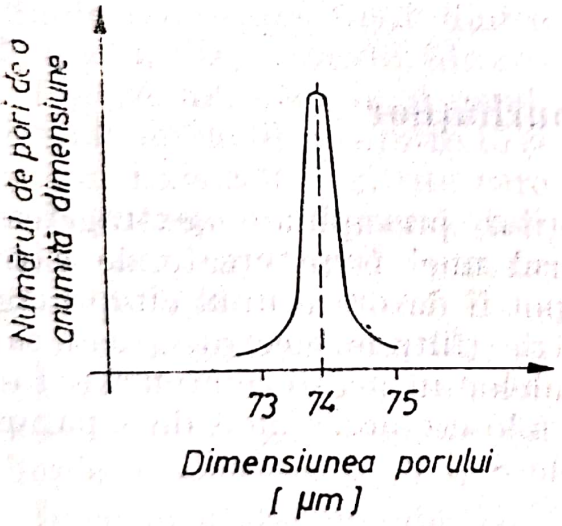


Fig. 6.8. Distribuţia dimensională a porilor în cazul filtrării de suprafaţă.

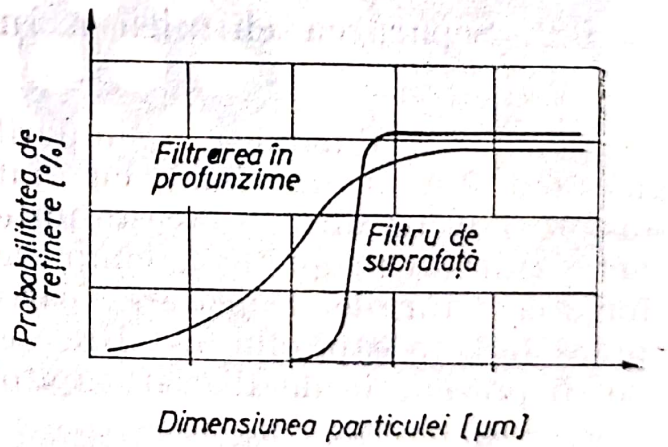


Fig. 6.9. Probabilitatea de reţinere a particulelor de o anumită dimensiune.

Analizînd probabilitatea de reţinere a particulelor impurifiante pentru cele două tipuri de medii filtrante (fig. 6.9), se poate observa că domeniul de reţinere al filtrării de suprafaţă este mult mai restrictiv decît filtrarea în profunzime.

Scanned with OKEN Scanner

Din analiza celor două mecanisme de filtrare, se pot trage următoarele concluzii privind avantajele și dezavantajele lor:

a) **Filtrarea în profunzime:**

Avantaje: capacitatea mare de reținere a impurităților; cost scăzut; eficiență ridicată.

Dezavantaje: greu de curățat; posibilitatea migrării particulelor ce aparțin mediului filtrant; domeniu redus al temperaturilor de utilizare; variație mare a performanțelor funcție de viscozitatea fluidului; cădere de presiune destul de mare.

b) **Filtrarea la suprafață:**

Avantaje: este exclusă posibilitatea de migrare a particulelor ce aparțin mediului filtrant însuși; rezistente la oboseală, temperaturi ridicate sau coroziune chimică; pot fi curățate și refolosite; dimensiunile porilor sînt mai riguros controlabile; se pot repara după defectare; cădere de presiune mai mică;

Dezavantaje: cost ridicat; eficiența inițială scăzută; capacitate limitată de reținere a impurităților.

6.2. Separarea chimică a impurităților

Separarea dinamică a impurităților presupune „extragerea" acestora din mediul fluid, cu ajutorul unei forțe create de către dispozitivul de filtrare. Aceste forțe pot fi datorate unui cîmp magnetic (filtrele magnetice), cîmp electric (filtrele electrostatice) sau forțe centrifugale. Deplasarea particulelor în aceste cîmpuri a fost prezentată în capitolul 3. Filtrele ce folosesc acest mod de separare vor fi prezentate detaliat în capitolele 8 și 9.

Scanned with OKEN Scanner

7.

Medii filtrante

Mediile filtrante utilizate la confecționarea elementelor filtrante rezultă din metodele și mijloacele de filtrare prezentate în cadrul capitolului 6.

7.1. Site

Sitele reprezintă unul dintre cele mai utilizate medii filtrante. Ele se folosesc, în general, pentru finețI de filtrare între 15 și 150 μm. Există însă și site care duc la o finețe de filtrare de pînă la 3—5 μm, ca și site de peste 250—300 μm.

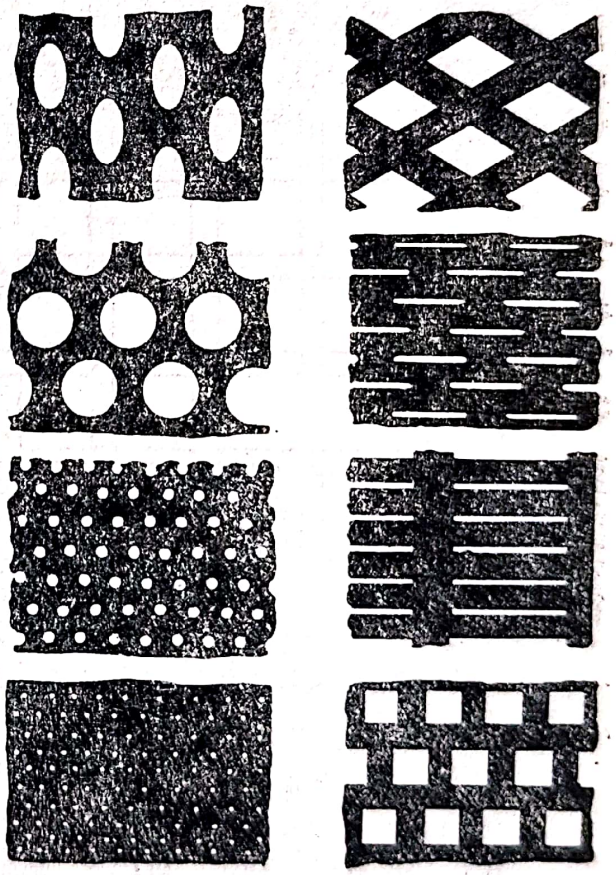


Fig. 7.1. Site din tablă perforată.

Cele mai obișnuite sînt sitele metalice. Acestea pot fi confecționate din tablă perforată sau pot fi împletite din sîrmă.

În cazul sitelor din tablă perforată (fig. 7.1), dimensiunea porului este perfect controlată. Acestea se folosesc pentru finețI de filtrare cuprinse între 1,55 mm și 0,55 mm. Primele se fabrică din aluminiu sau monel, iar ultimele din alamă. Uneori tablele perforate se folosesc ca suport pentru alte materiale filtrante.

Scanned with OKEN Scanner

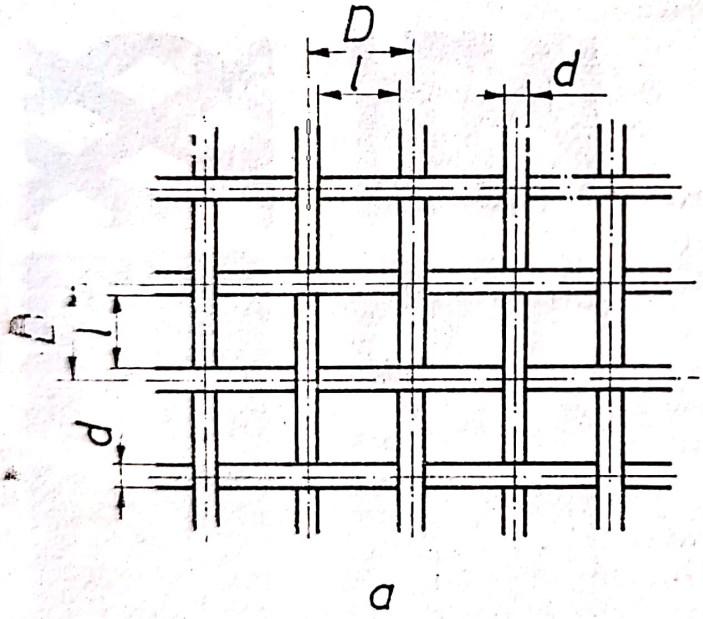
Cele mai utilizate site metalice sînt însă cele realizate din sîrmă împletită. Cele mai obișnuite materiale folosite în acest caz sînt: oțel, monel, alamă, nichel, bronz, cupru, oțel inoxidabil, aluminiu, inconel, titan, argint, tantal, Hastelloy și altele. Pentru materiale corosive, se recomandă, în general, oțeluri inoxidabile etc.

Țesăturile din sîrmă pot fi :

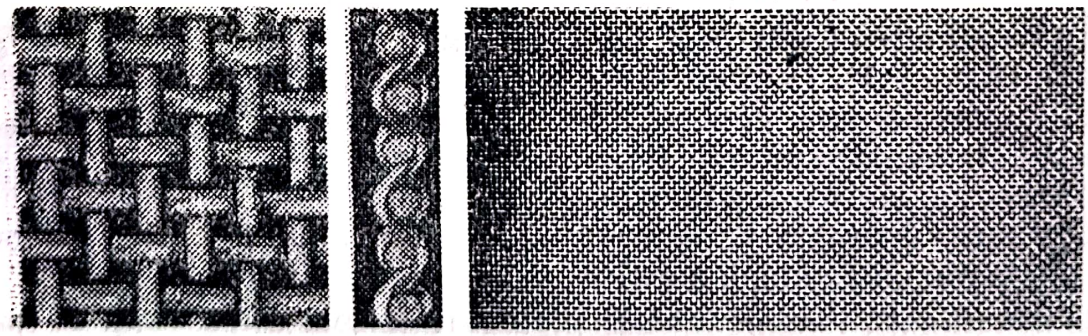
a) *Cu împletirea simplă a sîrmei* (fig. 7.2 *a* și *b*). Aceste țesături sînt folosite pentru dimensiuni ale ochiului de la 0,025 mm la 4 mm (STAS 1077-67). Suprafața filtrantă S_u se calculează cu formula :

$$S_u = \frac{l^2}{D^2} 100, \qquad (7.1)$$

unde l și D sînt reprezentate în fig. 7.2, *a*.



a



b

Fig. 7.2. Sită din împletirea simplă a sîrmei :
a — prezentarea schematică ;
b — prezentare secțiune plus vedere.

Acest tip de țesătură se folosește, în general, pentru dimensiuni mari ale ochiului; în cazul dimensiunilor mici ale ochiului, datorită diametrului mic al sîrmei, țesătura își pierde rigiditatea și dimensiunea ochiului nu mai este constantă.

Uneori, țesătura simplă, rectangulară, se folosește și ca suport rigid pentru alte medii filtrante;

b) *Cu împletirea dublă a sîrmei* (fig. 7.3). Acest tip de țesătură permite folosirea sîrmei de diametru mai mare decît în cazul precedent, la aceeași finețe de filtrare. Aceasta conferă o rigiditate sporită materialului filtrant;

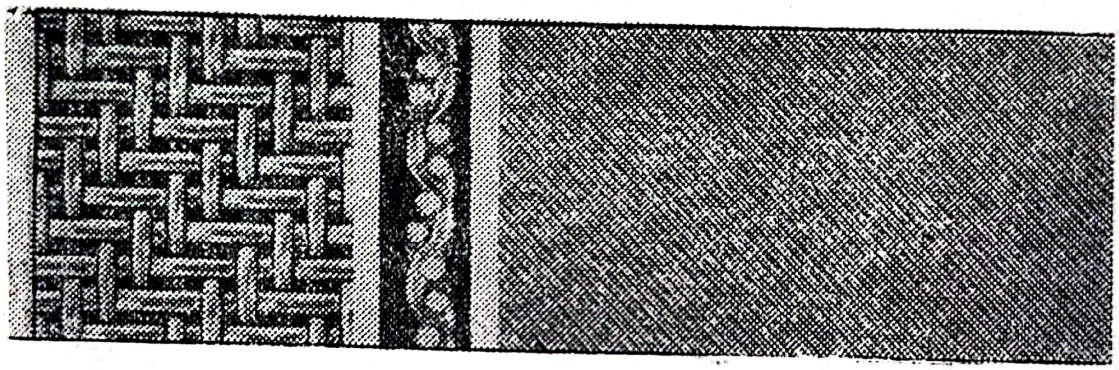


Fig. 7.3. Sită cu împletirea dublă a sîrmei.

c) *Țesătura olandeză simplă* (fig. 7.4). Acest tip de țesătură permite obținerea unor fineți de filtrare mici și constante la o flexibilitate sporită a materialului filtrant;

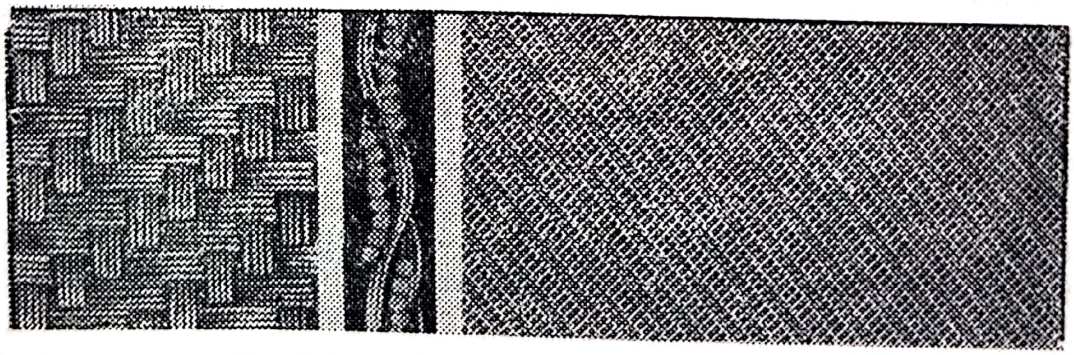


Fig. 7.4. Țesătură olandeză simplă.

d) *Țesătura olandeză dublă* (fig. 7.5). Acest tip de țesătură permite obținerea unei fineți de filtrare de pînă la 20 μm în condițiile unei rigidități satisfăcătoare;

Scanned with OKEN Scanner

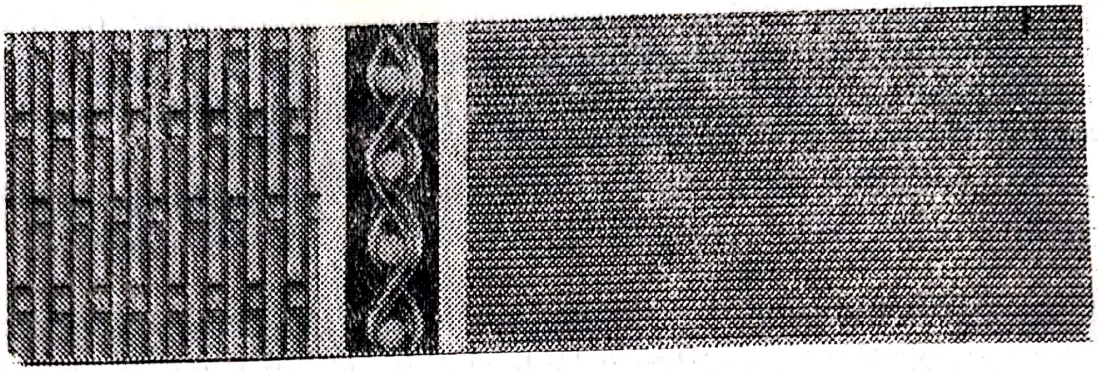


Fig. 7.5. Țesătură olandeză dublă.

e) *Țesătura multifilară* (fig. 7.6). Această țesătură asigură cea mai mică finețe de filtrare, pînă la 10 μm, însă este cel mai greu de realizat din punct de vedere tehnologic. Rezistența mare a țesăturii permite realizarea de elemente filtrante cu cădere mare de presiune.

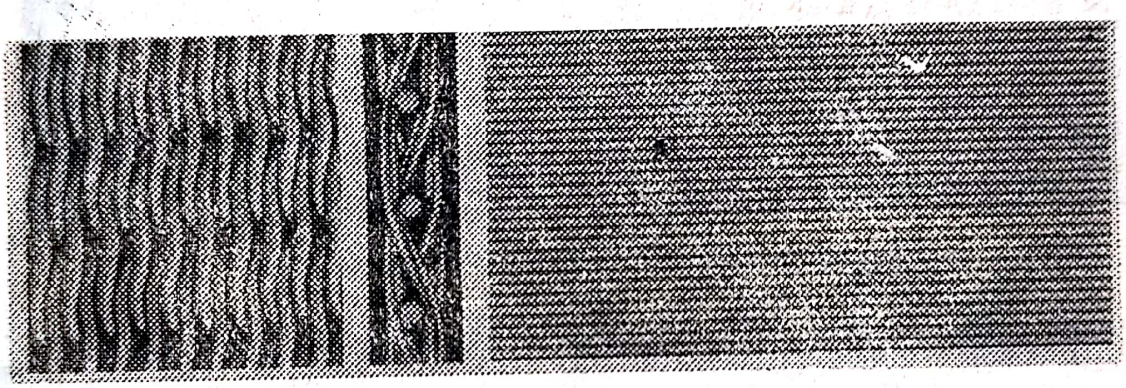


Fig. 7.6. Țesătură multifilară.

Unele firme, pentru a obține o constantă mai mare a dimensiunii ochiurilor, fac un proces de sintetizare sau de sudură superficială a țesăturii.

Utilizînd țesăturile metalice prin straturi suprapuse, se poate realiza și filtrarea „în profunzime". Costul ridicat al unor astfel de materiale filtrante face ca ele să fie destul de puțin folosite.

Se pot realiza site și din materiale textile sau materiale plastice. Acestea, avînd aceleași tipuri de țesături ca și în cazul sitelor metalice, au un cost mult mai scăzut.

Au fost realizate țesături filtrante din bumbac, iută, nylon, poliesteri, policlorură de vinil, teflon, polietilenă, polipropilenă, orlon, vinyon, fibre de sticlă și altele. Aceste tipuri de medii filtrante prezintă însă dezavantajul că probabilitatea de migrare a particulelor din însăși materialul filtrant este destul de mare, pe cînd în cazul filtrelor din țesături metalice este exclusă.

Scanned with OKEN Scanner

Tot din categoria sitelor fac parte și materialele filtrante obținute prin electroformare din materiale plastice sau metale (fig. 6.4). Acestea permit realizarea unor finețuri de pînă la 5 μm.

În ultima perioadă de timp, au fost obținute site filtrante din materiale plastice de tip polimer sau din materiale metalice perforate chimic, cu fascicul laser sau prin bombardare cu electroni. Deși asigură o finețe de filtrare foarte mică, datorită costului ridicat, aceste materiale sînt destul de puțin folosite.

7.2. Filtre bobinate

Tot din categoria mediilor filtrante, ce folosesc mecanismul filtrării de suprafață, fac parte și filtrele realizate prin înfășurarea sîrmei metalice sau a fibrelor continue de material plastic cu un pas bine determinat (fig. 7.7). Sîrma sau fibra care se înfășoară poate avea profil rotund sau rectangular.

Aceste medii filtrante astfel realizate pot asigura o finețe de filtrare de 5—25 μm. Filtrele construite astfel au, în general, debite mici de pînă la 12—15 l/min și asigură o cădere de presiune pe filtrul curat de circa 1,5 daN/cm².

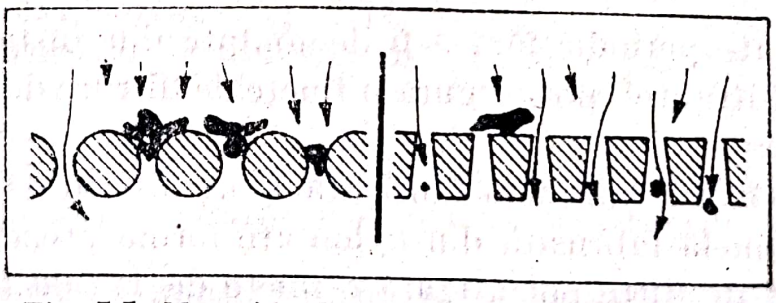


Fig. 7.7. Mecanismul filtrării la filtrele bobinate.

7.3. Filtre lamelare

Făcînd parte tot din categoria elementelor filtrante ce folosesc mecanismul filtrării de suprafață, aceste filtre sînt folosite mai mult la instalațiile hidraulice ale utilajelor mobile. Lamelele pot fi plane (fig. 7.8) sau pot fi profilate, prin forma lor asigurîndu-se spațiul filtrant. Acestea din urmă (fig. 7.9) sînt filtre specifice firmei Purolator.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul filtrelor cu lamele plane *1*, spațiul filtrant este asigurat de către lamela de distanțare *2*. Lamela de curățare *3*, avînd grosime mai mică decît distanțierul *2*, printr-o mișcare de rotație, permite curățirea interstițiului filtrant. Aceste filtre prezintă deci avantajul

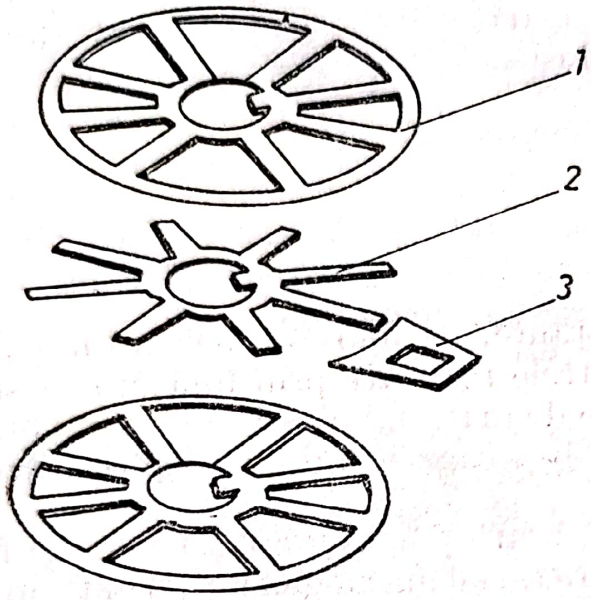


Fig. 7.8. Componența unui filtru lamelar cu lamele plane.

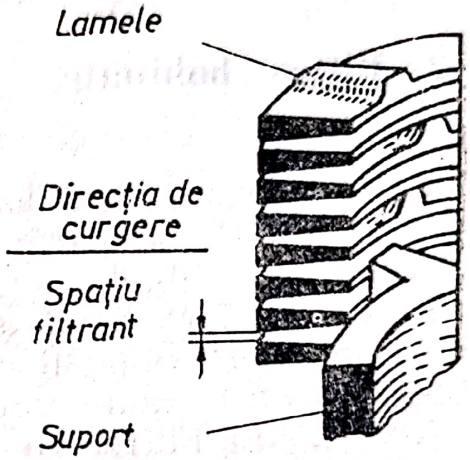


Fig. 7.9. Filtru lamelar cu lamele profilate.

că pot fi curățate periodic fără a fi demontate din instalație. Acest tip de „medii filtrante" pot asigura o finețe de filtrare de pînă la 15—20 μm [60].

Firma FIPOCA a lansat în fabricație și un alt tip de filtre lamelare, în care lamela fabricată din nylon are forma prezentată în fig. 7.10. Acest tip de filtre pot asigura o finețe de la 500 microni pînă la 5 microni.

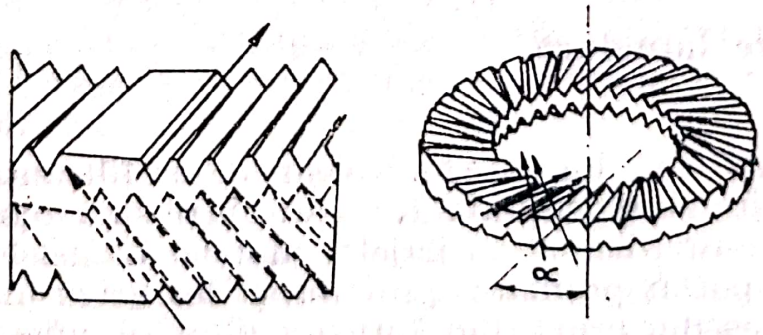


Fig. 7.10. Forma lamelei la filtrele FIPOCA.

7.4. Împîsliturі fibroase

Aceste împîsliturі, acţionînd pe baza mecanismului filtrării „în profunzime", sînt formate din numeroase fibre fine avînd diametrul între 0,5 şi 30 μm, funcţie de materialul din care sînt alcătuite. Aşezate aleatoriu, aceste fibre formează pori, prin care trece fluidul impur. Fibrele ce alcătuiesc materialul filtrant pot fi: celulozice, de bumbac, microfibre de sticlă, sintetice (relon, polipropilenă etc.).

Finețea de filtrare pe care o pot asigura este funcţie de diametrul fibrelor. Cu cît diametrul este mai mic, împîslitura poate fi mai compactă, porii mai mici şi, de aici, o finețe de filtrare mai mică. De exemplu, microfibrele de sticlă asigură o finețe de filtrare mai mică decît fibrele celulozice. Aceste medii filtrante permit realizarea unui material filtrant cu grosimea de 0,25 pînă la 2 mm grosime. Întrucît acesta are însă o rezistenţă mecanică redusă, se impregnează cu răşini fenolice, epoxidice sau acrilice. În procesul de filtrare, la mecanismul de filtrare „în profunzime", se adaugă şi fenomenul de adsorbţie [74].

Fig. 7.11 prezintă cîteva variante de împîsliturі fibroase, în care o particulă de 3 μm este prezentată (la scară) comparativ cu dimensiunea porilor. Aceeaşi figură prezintă o sită metalică (nu face parte din categoria împîsliturilor fibroase) cu dimensiunea ochiului de 74μm. Tabelul 7.1 explicitează fig. 7.11.

Dintre împîsliturile fibroase, materialul cel mai utilizat este hîrtia filtrantă.

Pentru mărirea suprafeței filtrante şi pentru a conferi o cît mai mare rezistenţă la căderea de presiune pe filtru, acest tip de materiale filtrante se pliază şi se armează cu diverse structuri mai rezistente (fig. 7.12).

În componenţa unui element filtrant, ce utilizează împîsliturі fibroase, intră: capacele *1* şi *2*, o coloană de rezistenţă *3* din tablă perforată, un strat cu sită metalică de protecţie *4*, unul sau două straturi din împîsliturі fibroase pentru protecţie *5*, unul sau două straturi cu împîsliturі fibroase ce asigură finețea de filtrare cerută *6* unul sau două straturi din împîsliturі fibroase cu finețe de filtrare grosieră *7* şi stratul exterior de protecţie din sită metalică *8*.

Există variante de elemente filtrante, în care materialul filtrant este aşezat în formă elicoidală (fig. 7.13), iar, în final, se face o impregnare urmată de polimerizarea electrică. Această variantă de element filtrant, specifică firmei Tecalemit, prezintă avantajul că, spre deosebire de toate celelalte elemente filtrante, se folosesc materiale din împîsliturі fibroase, este lavabilă prin contracurent de fluid curat.

Scanned with OKEN Scanner

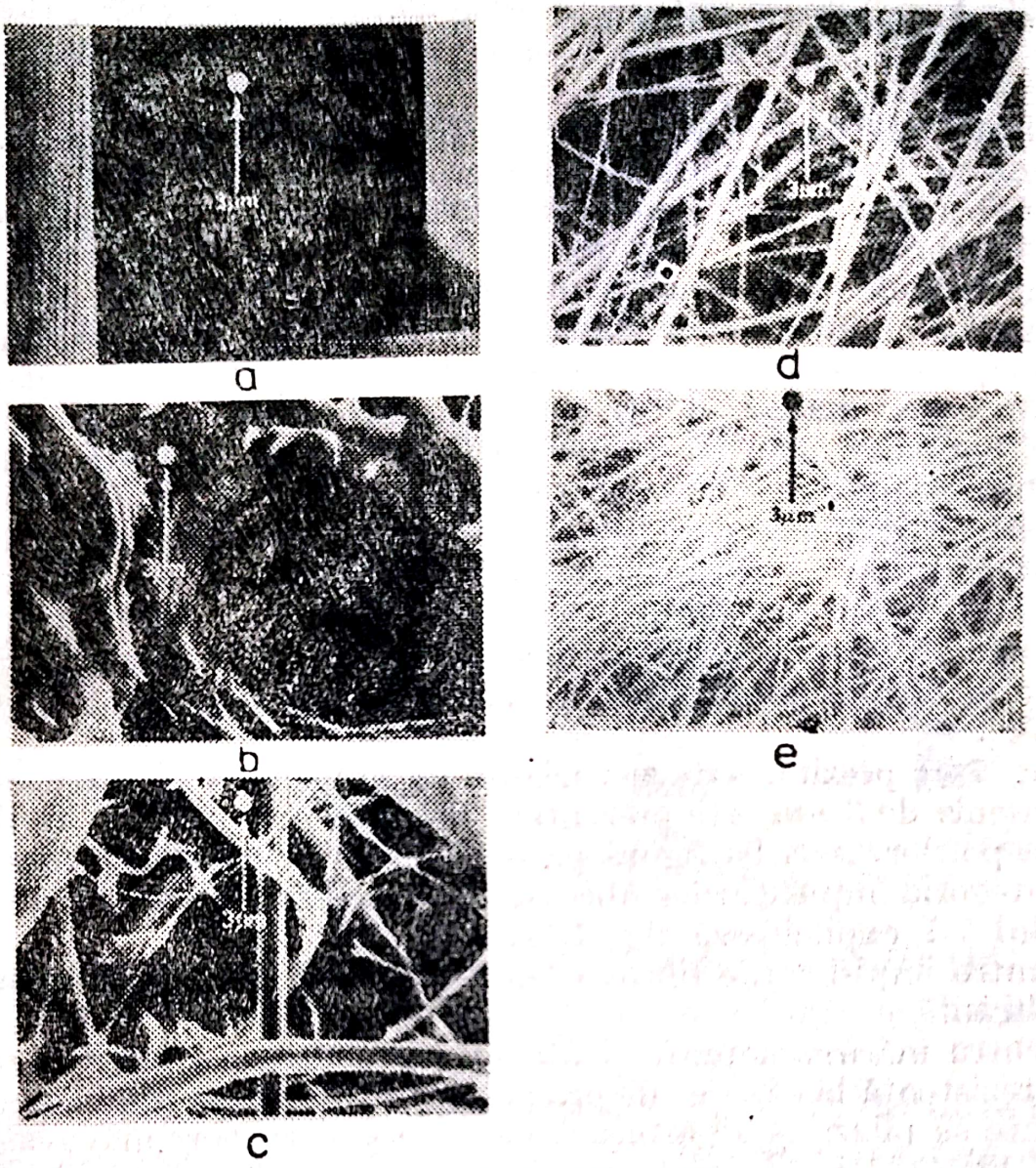


Fig. 7.11. Variante de impisliturі fibroase.

Tabelul 7.1

Explicitarea dimensională a figurii 7.11

Figura	Finețea de filtrare relativă [μm]	Finețea de filtrare absolută [μm]
7.11, *b*	10	25—50
7.11, *c*	3	15—20
7.11, *d*	1,5	2
7.11, *e*	0,45	0,9

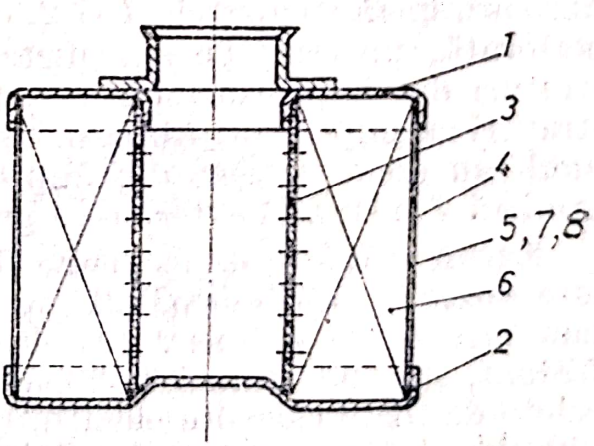


Fig. 7.12. Element filtrant din hîrtie.

Scanned with OKEN Scanner

Rezistența mecanică a hîrtiei filtrante este de maximum 7 daN/cm². Această rezistență este mărită prin armarea materialului filtrant în modul indicat în figura 7.12. Deșeurile de bumbac, lînă sau

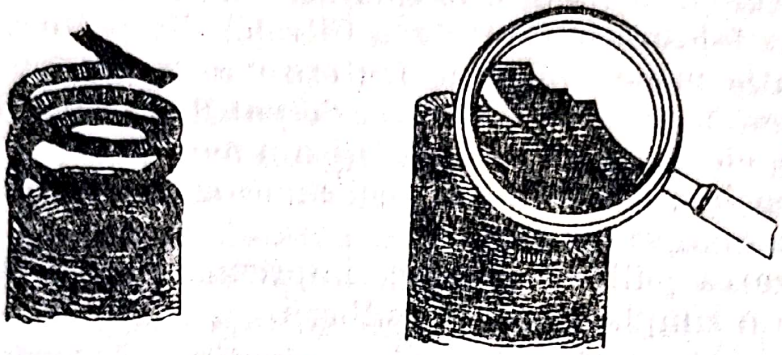


Fig. 7.13. Element filtrant cu materialul filtrant așezat în spirală.

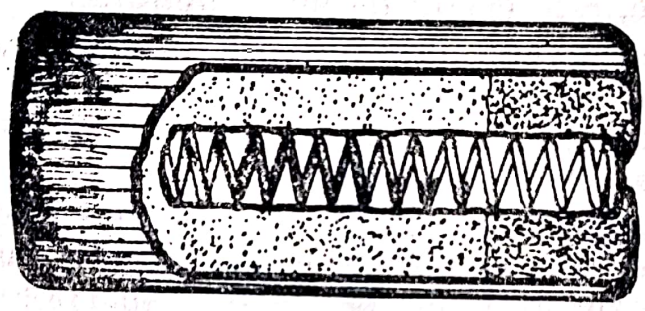


Fig. 7.14. Filtru din împîsliturî textile.

fibre sintetice (nylon, polietilenă, polipropilenă, acrili, poliesteri etc.) pot fi folosite pentru realizarea unor filtre „în profunzime" (fig. 7.14).

Filtrele din împîsliturî fibroase prezintă următoarele avantaje: posibilitatea realizării unei finețî de filtrare scăzute (5 — 10 μm); cost scăzut.

Dintre dezavantaje se pot enumera: rezistență mecanică redusă; permeabilitate scăzută; nu se pot spăla sau regenera.

7.5. Pulberi sinterizate

Pulberile sinterizate sînt medii filtrante ce funcționează pe baza mecanismului filtrării „în profunzime". În funcție de natura pulberii, filtrele realizate pot fi metalice, ceramice sau din materiale plastice [53].

Filtrele metalice sinterizate sînt realizate din pulberi de bronz, alte aliaje pe bază de cupru (Cu — Ni, Cu — Ni — Sn), plumb, sta-

niu, oţel carbon, oţel inox, monel, inconel etc. Pulberile sînt produse rezultate din pulverizarea metalului topit. Aceste pulberi trebuie să aibă formă sferică, asigurîndu-se astfel o porozitate uniformă, pori cu pereţi netezi şi, în final, o eficacitate înaltă la filtrare.

Tehnologia folosită la fabricarea filtrelor din pulberi metalice este simplă, operaţia principală fiind sinterizarea în mediu reducător, de obicei hidrogen, a pulberii metalice. Se pot utiliza două metode pentru obţinerea elementelor filtrante şi anume :

— presarea în matriţe a pulberii amestecate cu un liant volatil şi sinterizarea comprimatelor ;

— sintetizarea pulberii metalice împreună cu matriţa de formare, precedate de o simplă tasare a pulberii.

Prima metodă, deşi este mai productivă, datorită faptului că asigură o porozitate de numai 20%, nesatisfăcătoare în multe domenii de utilizare, este destul de puţin folosită.

Cea de-a doua metodă, deşi necesită un număr mai mare de matriţe, permite obţinerea unor porozităţi superioare, 30—50%, aplicabile la majoritatea domeniilor de utilizare. De altfel, aceasta este şi tehnologia cea mai larg utilizată.

În cadrul procesului de sinterizare, are loc o sudură punctiformă între granulele metalice de formă sferică. Această sudură superficială are loc prin difuzia atomilor dintre două particule prin suprafaţa de contact. De aceea, deosebit de importantă este starea suprafeţei granulelor (grosimea peliculei de oxid) şi puterea de reducere a mediului protector. S-a stabilit că un material filtrant din pulbere de bronz sinterizată cu calităţi mecanice ridicate (rezistenţă la tracţiune 4 — 500 kgf/cm^2) se poate obţine numai folosind o pulbere neoxidată sub 0,2% O_2, iar ca mediu protector, hidrogen tehnic uscat (99,9% H_2).

Difuzia atomilor între particule este, de asemenea, dependentă şi de temperatură, durată şi mărimea particulelor.

Temperatura acţionează ca un activant al fluxului de atomi dintre particule şi ca o condiţie a reactivităţii mediului protector. Odată distrusă pelicula de oxid, procesul are loc cantitativ în timp, la temperatură constantă. Rezultă astfel că durata şi temperatura sînt unii din factorii care condiţionează mărimea porilor.

Aceste materiale filtrante asigură o fineţe de filtrare de 5 — 25 μm. Prin procesul de sinterizare se pot realiza şi filtre din pulberi ceramice de oxizi de siliciu, aluminiu, potasiu sau sodiu. Spre deosebire de filtrele realizate din pulberi metalice sinterizate, aceste granule pot avea diametre foarte mici, de 0,8—0,12 μm, asigurîndu-se o fineţe de filtrare de pînă la 0,5— 1μm.

Scanned with OKEN Scanner

Unele firme — Poral, Metafram și altele au realizat și filtre din pulberi de materiale plastice. Pentru creșterea permeabilității, au fost realizate filtre cu porozitate progresivă „în profunzime".

Filtrele din pulberi sinterizate prezintă următoarele avantaje: permeabilitate ridicată la diferite medii; cădere redusă de presiune pe elementul filtrant; eficacitate ridicată de filtrare; rezistență mecanică mare (cu excepția filtrelor ceramice); rezistență la medii corosive și temperaturi înalte (cu excepția filtrelor din pulberi de materiale plastice); regenerarea ușoară și menținerea unor caracteristici apropiate de cele inițiale; posibilitatea separării a două fluide cu tensiuni superficiale diferite; durabilitate ridicată.

Dintre dezavantajele acestor medii filtrante se pot cita: cost ridicat; posibilitatea detașării unor granule din elementul filtrant, ce pot impurifica mediul fluid.

Elementele filtrante realizate din pulberi sinterizate pot fi în formă de discuri, conuri, cilindri etc. (fig. 7.15).

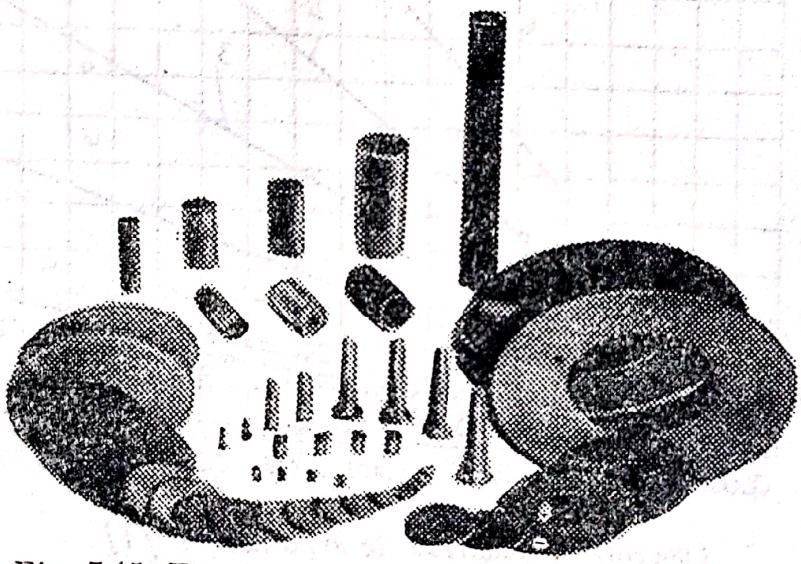


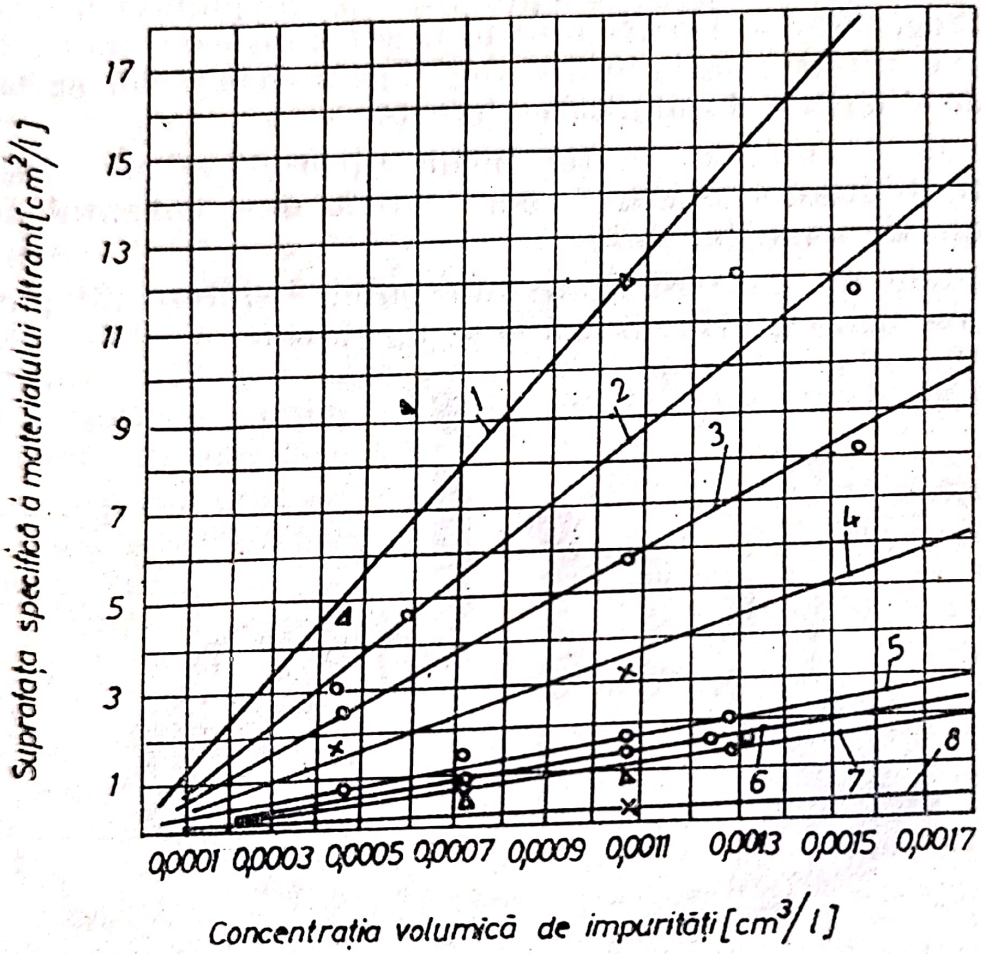
Fig. 7.15. Elemente filtrante din pulberi sinterizate.

7.6. Pămînturi diatomeice

Aceste medii filtrante funcționează pe baza mecanismului filtrării „în profunzime": Pămînturile diatomeice sînt zăcăminte de diatomee fosilizate formate după retragerea mărilor acum zeci de milioane de ani. Acestea sînt calcinate, filtrate, prelucrate, formînd elemente filtrante cu permeabilitate mare, porozitate foarte fină, ceea ce asigură o finețe de filtrare foarte mică de 1 — 3 μm.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru creşterea rezistenţei mecanice uneori acestor medii filtrante li se ataşează un suport filtrant format din împîslituri celulozice. Alegerea mediului filtrant folosit pentru realizarea unui element filtrant se face funcţie de domeniul propus pentru utilizarea filtrului, funcţie de cost şi de posibilităţile tehnologice ale firmei producătoare. Fig. 7.16 prezintă comparativ capacitatea de reţinere a diferitelor medii filtrante, funcţie de suprafaţa mediului filtrant.



1 -Medii fibroase formate din împîslituri de bumbac, lînă, etc.
2 -Medii fibroase formate din împîslituri de materiale plastice.
3 -Hîrtie cu porozitate grosieră.
4 -Material plastic pluricelular.
5 -Hîrtie cu porozitate fină.
6 -Sită multistrat.
7 -Pulberi metalice sinterizate (diam. granulei = 20 μm.)
8 -Pulberi metalice sinterizate (diam. granulei = 6 μm.)

Fig. 7.16. Diagramă comparativă privind suprafaţa specifică şi concentraţia de impurităţi pentru diferite medii filtrante.

Scanned with OKEN Scanner

În funcție de numerotarea caracteristicilor, acestea reprezintă :
1) medii fibroase formate din împîsliturі de bumbac, lînă etc. ;
2) medii fibroase formate din împîsliturі de materiale plastice ;
3) hîrtie cu porozitate grosieră ;
4) material plastic pluricelular ;
5) hîrtie cu porozitate fină ;
6) pulberi metalice sinterizate cu diametrul granulei de 20 μm ;
7) pulberi metalice sinterizate cu diametrul granulei de 6 μm ;
8) sită multistrat.

Scanned with OKEN Scanner

8.

Construcția și montajul filtrelor hidraulice

Din punct de vedere constructiv, filtrele hidraulice sînt alcătuite din :

— corpul filtrului format din capul filtrului și pahar ;

— elementul filtrant ;

— elemente auxiliare (sesizor de îmbîcsire, supapă de ocolire).

Capul filtrului reprezintă, în general, acea parte a filtrului pe care se montează elementul filtrant, elementele auxiliare și racordurile de intrare și de ieșire din filtru. În funcție de tipul filtrului, capul este fabricat din fontă, aluminiu, oțel sau materiale plastice. Paharul filtrului se prinde de cap și protejază elementul filtrant. Sesizorul de îmbîcsire, care se montează pe capul filtrului, permite obținerea unei informații privind creșterea căderii de presiune pe elementul filtrant datorate colmatării acestuia.

Sesizoarele de îmbîcsire pot fi :

— cu acțiune simplă, sesizînd numai creșterea de presiune înaintea elementului filtrant ;

— cu acțiune diferențială, sesizînd creșterea diferenței de presiune înainte și după elementul filtrant.

Informația de la sesizor poate fi convertită într-un semnal optic (fig. 8.1, *a*, *b*) sau într-un semnal electric (fig. 8.2, *a*, *b*), care, la rîndul său, poate fi convertit într-un semnal optic, acustic sau chiar poate opri instalația.

Construcția propriu-zisă a filtrelor hidraulice este funcție de utilajul pe care se montează și funcție de rolul său în instalația hidraulică.

Scanned with OKEN Scanner

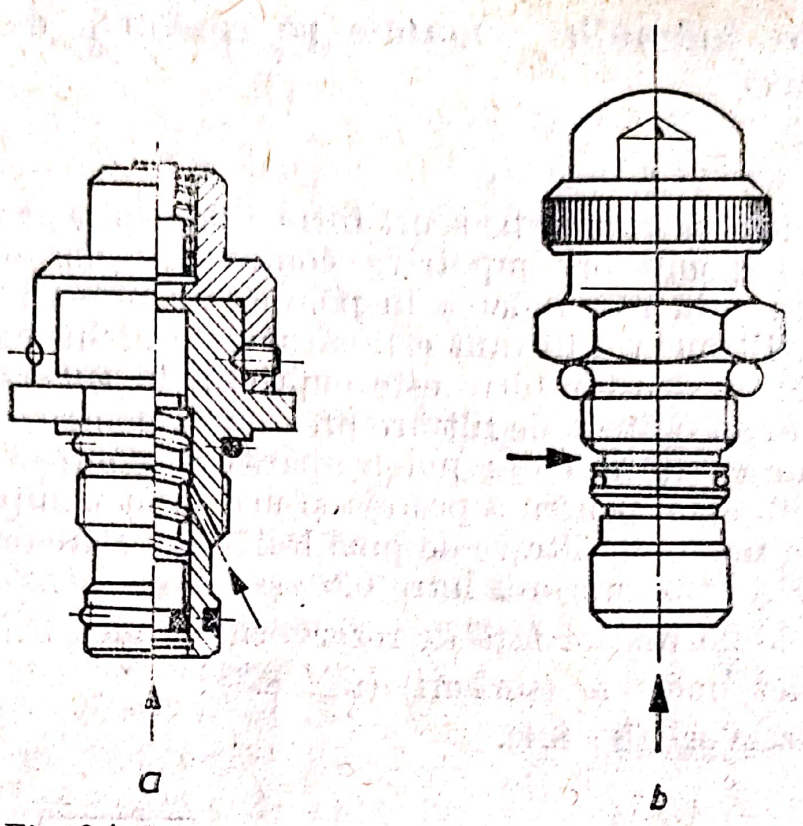


Fig. 8.1. Sesizor de îmbîcsire cu semnalizare optică :
a — cu stift ; *b* — cu oglindă.

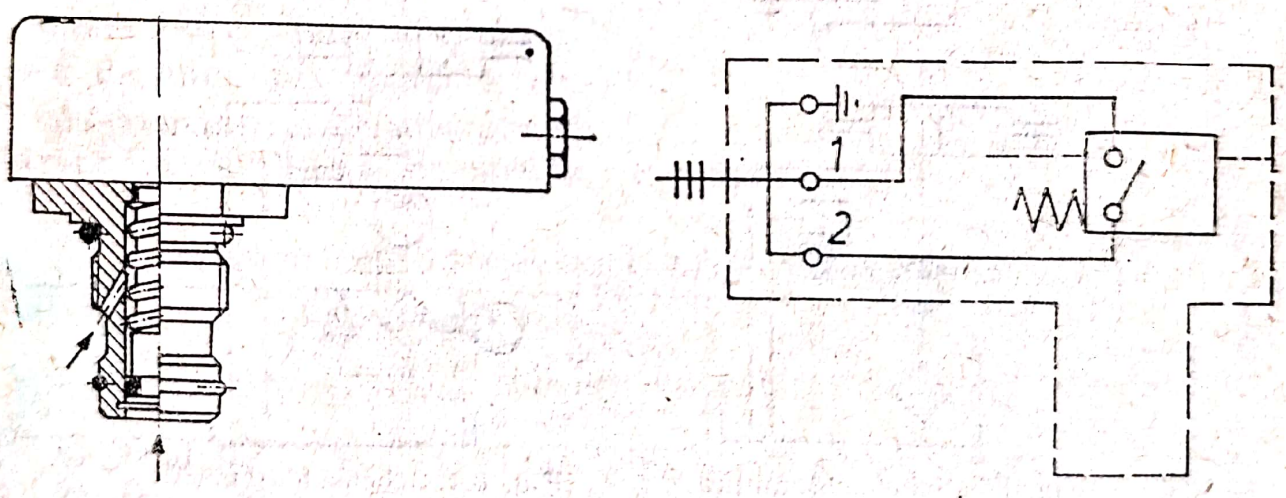


Fig. 8.2. Sesizor de îmbîcsire cu semnalizare electrică.

Funcție de rolul pe care-l au în schema hidraulică, filtrele hidraulice se montează în diverse poziții funcționale. După acest criteriu, ele se pot împărți în trei categorii mari :

— filtre montate pe conducta de aspirație ;
— filtre montate pe conducta de refulare ;
— filtre montate pe conducta de retur.

Scanned with OKEN Scanner

8.1. Filtre hidraulice montate pe conducta de aspirație a pompei

Aceste filtre, denumite pe scurt filtrele de aspirație (*FA*), servesc la protejarea pompelor împotriva contaminanților din rezervorul de ulei, care, prin pătrunderea în pompă, ar putea afecta buna ei funcționare. Elementul filtrant este alcătuit din sită metalică. Finețea de filtrare a acestor filtre este cuprinsă, în general, între 40 și 300 μm. Se evită o finețe de filtrare prea mică, pentru a preîntîmpina fenomenul de cavitație ce ar putea apărea în pompă. Există totuși firme (Bosch), care, pentru a proteja și mai mult pompa, recomandă pentru *FA* o finețe de filtrare de pînă la 25 μm. Căderea de presiune admisă pe *FA* este cuprinsă între 0,01 și 0,5 daN/cm².

Funcție de poziția lor față de rezervorul de ulei, *FA* pot fi :

— complet imersate (sorburi) (fig. 8.3);

— pe rezervor (fig. 8.4).

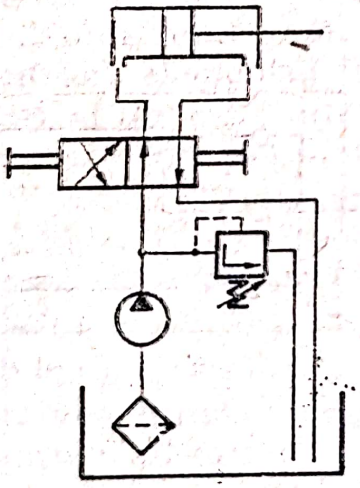


Fig. 8.3. Schemă hidraulică cu filtru de aspirație complet imersat.

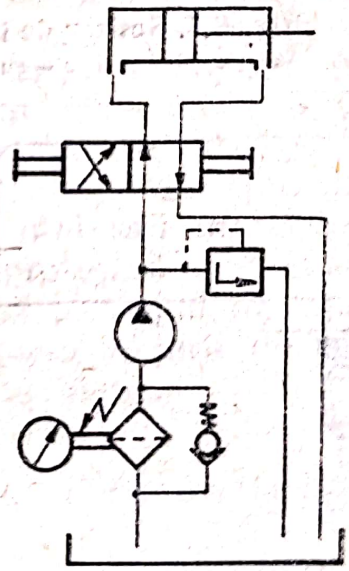


Fig. 8.4. Schemă hidraulică cu filtru de aspirație pe rezervor.

Sorburile sînt alcătuite practic dintr-un suport metalic pentru sita filtrantă și racordul către conducta de aspirație (fig. 8.5).

La noi în țară se fabrică o gamă tipizată de sorburi la I. E. H. Rîmnicu-Vîlcea. În tabelul 8.1 este prezentată această gamă. Deza-

Scanned with OKEN Scanner

vantajul acestor filtre constă în faptul că îmbîcsirea filtrului nu poate fi sesizată decît prin zgomotul caracteristic al pompelor în care au loc procesele cavitaţionale. De asemenea, spargerea filtrului nu poate fi sesizată. Pentru schimbarea sorbului, este necesară demontarea pompei sau ridicarea capacului rezervorului cu aparatură montată.

Pentru utilajele mobile şi pentru motoarele termice, sorburile au forme diferite, funcţie de poziţia şi accesul la rezervorul de ulei. Din motivele arătate mai sus, pe instalaţiile hidraulice moderne, sorburile au fost înlocuite cu *FA* montate pe rezervor (fig. 8.6).

Aceste filtre sînt dotate cu sesizor de îmbîcsire, pentru a semnala colmatarea elementului filtrant, şi cu supapă de ocolire,

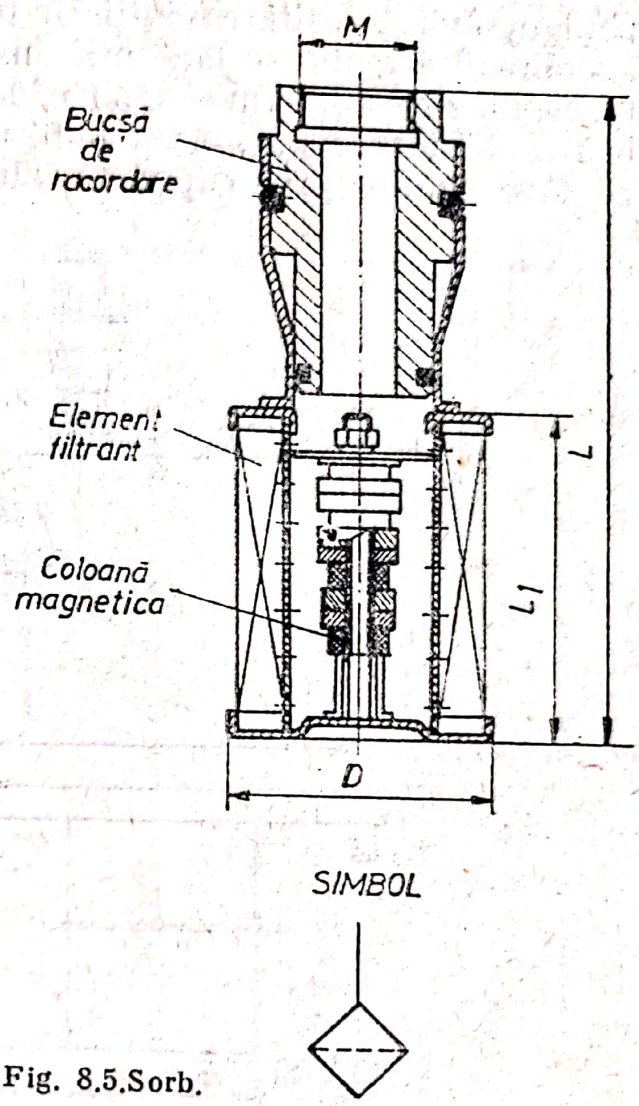


Fig. 8.5. Sorb.

Tabelul 8.1

Dimensiunile sorburilor fabricate la I.E.H. Rîmnicu—Vîlcea (fig. 8.5)

Cod	Debit [l/min] max	Debit [l/min] recomandat	Finețea de filtrare [μm]	L	L_1	D	M	Suprafaţa de filtrare [mm²]
668.22.01.100	20	15	63	150	107	75	20×1,5	410
668.22.01.200	20	15	90	150	107	75	20×1,5	410
668.22.01.300	20	15	160	150	107	75	20×1,5	410
668.22.02.100	40	30	63	200	142	90	33×2	655
668.22.02.200	40	30	90	200	142	90	33×2	655
668.22.02.300	40	30	160	200	142	90	33×2	655
668.22.03.100	60	45	63	200	142	90	33×2	980
668.22.03.200	60	45	90	200	142	90	33×2	980
668.22.03.300	60	45	160	200	142	90	33×2	980
668.22.04.100	100	75	63	228	142	110	52×2	1560
668.22.04.200	100	75	90	228	142	110	52×2	1560
668.22.04.300	100	75	160	228	142	110	52×2	1560

Scanned with OKEN Scanner

pentru a evita apariţia cavitaţiei în pompă. La *FA*, prezentat în fig. 8.6, „ocolirea" filtrului se face prin însăşi deplasarea pe verticală a elementului filtrant, atunci cînd căderea de presiune creşte peste valoarea stabilită. La acest tip de filtre, schimbarea elementului filtrant se face simplu prin capul filtrului.

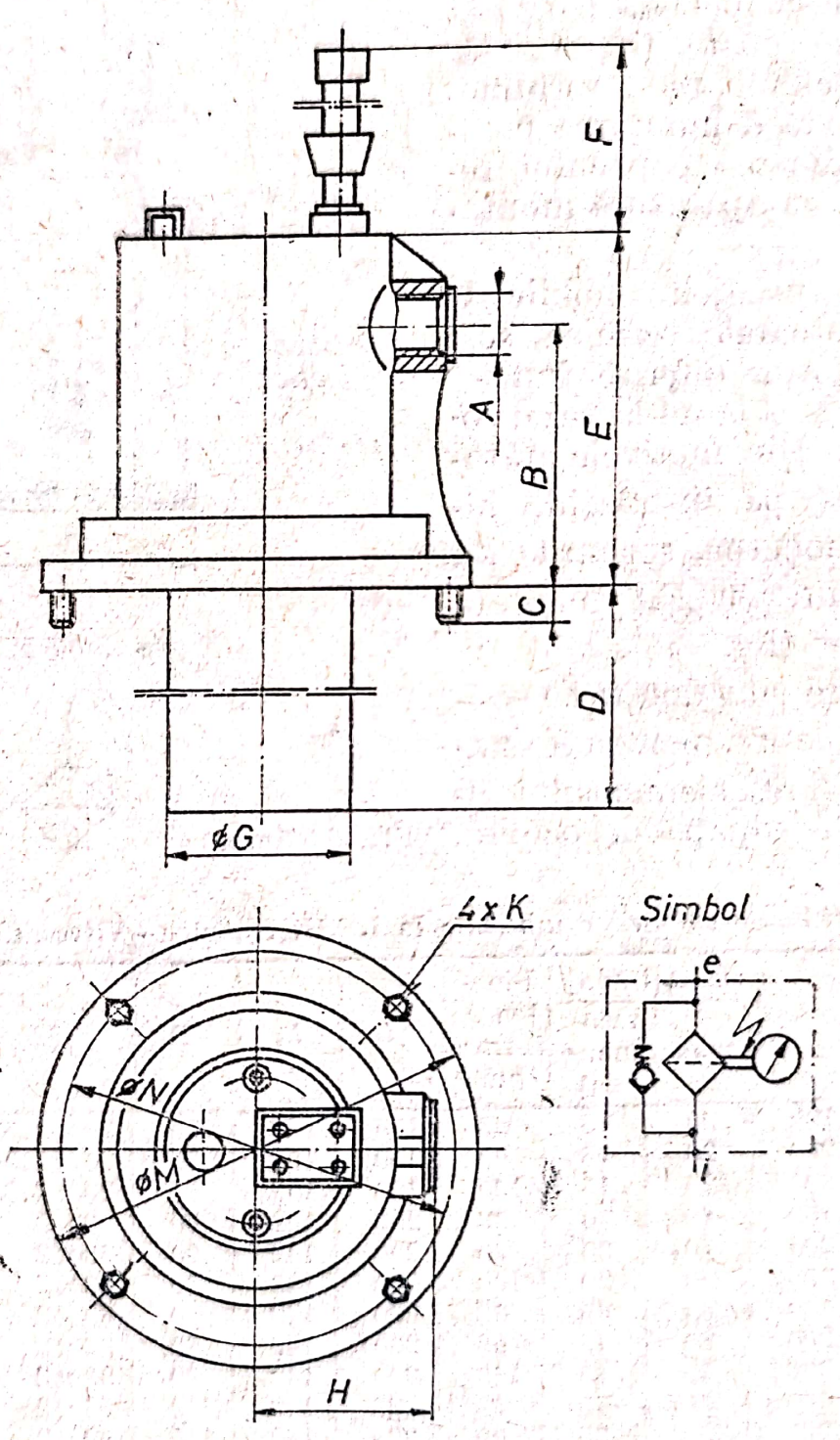


Fig. 8.6. Filtru de aspiraţie pe bazin.

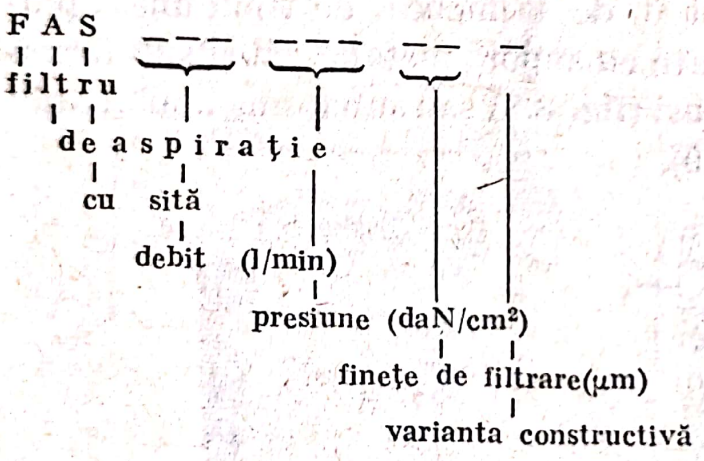
Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.2

Dimensiunile filtrelor de aspiraţie fabricate la I.E.H. Rîmnicu—Vîlcea fig. 8.6

Nr. crt.	Tip filtru	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*K*	*M*	*N*
1	FAS 003 000 90 1	M22×1,5	47	15	145	85	60	50	40	M6	120	102
2	FAS 012 000 90 1	M22×1,5	47	15	145	85	60	50	40	M6	120	102
3	FAS 040 000 90 1	M42×2	70	15	225	130	60	80	70	M8	160	144
4	FAS 063 000 90 1	M42×2	70	15	275	130	60	80	70	M8	160	144
5	FAS 100 000 90 1	M42×2	70	15	340	130	60	80	70	M8	160	144
6	FAS 160 000 90 1	G $2^1/_2$''	80	20	520	165	60	110	85	M8	200	180
7	FAS 320 000 90 1	G $2^1/_2$''	80	20	520	165	60	110	85	M8	200	180

Explicitare cod:



FA montate pe rezervor se află în fabricaţie la I.E.H. Rîmnicu -Vîlcea (tabelul 8.2). Unele firme (Parker Hannitin) adoptă şi varianta montării *FA* lateral pe rezervorul de ulei.

8.2. Filtre hidraulice montate pe conducta de refulare a pompei

Aceste filtre, cu o mare varietate de forme constructive, servesc la protejarea elementelor instalaţiei hidraulice de pătrunderea contaminanţilor ce trec prin pompă, sau care au fost generaţi de aceasta (fig. 8.7).

Scanned with OKEN Scanner

Filtrele hidraulice montate pe conducta de refulare, întrucît lucrează pe un circuit de presiune, se mai numesc și filtre de presiune (*FP*) . Finețea de filtrare a acestor filtre este cuprinsă între 15 și 63 μm. Căderea maximă de presiune admisă pe *FP* este de 5 — 6 daN/cm². *FP* sînt dotate cu sesizoare de îmbîcsire și supape de ocolire. Elementele lor filtrante sînt alcătuite din medii ce folosesc, atît filtrarea la suprafață, cît și filtrarea în profunzime.

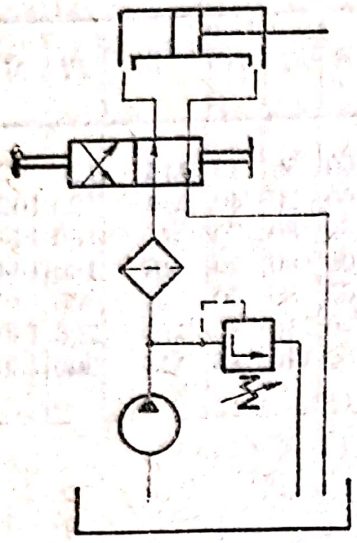


Fig. 8.7. Schemă hidraulică cu filtru de presiune pe conducta de refulare a pompei.

Există filtre de presiune, la care elementele filtrante sînt alcătuite din straturi succesive de sită pliată. Aceste filtre pot asigura o finețe de filtrare de pînă la 10 μm. Elementele filtrante, ce folosesc împîsliturі textile, pot fi, de asemenea, de tipul unei „pînze" pliate cu suport metalic, cît și sub formă de discuri (fig. 8.8) sau sub formă „bobinată" (fig. 8.9).

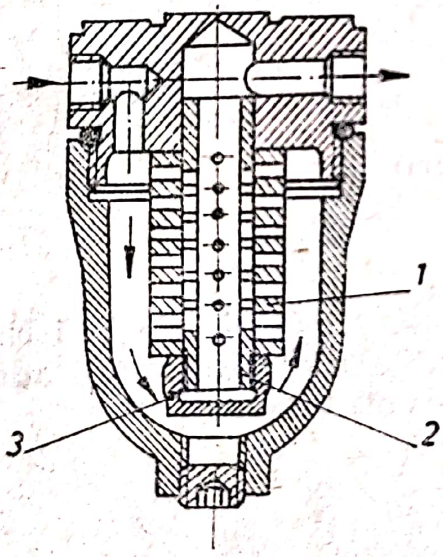


Fig. 8.8. Filtru de presiune cu discuri din împîsliturі textile.

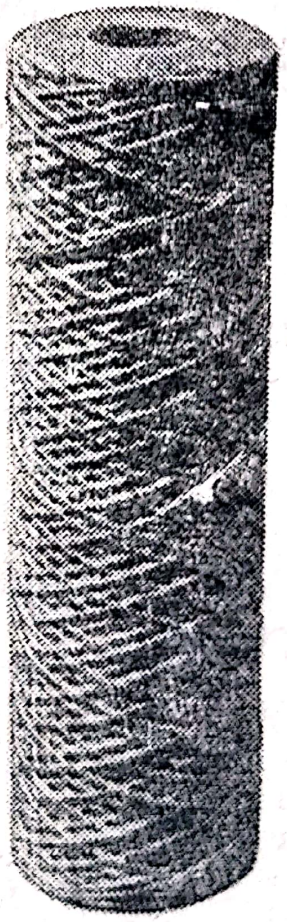


Fig. 8.9. Element filtrant din împîsliturі textile bobinate.

Scanned with OKEN Scanner

În cazul filtrului din fig. 8.8, elementul filtrant este compus dintr-un număr oarecare de rondele de pîslă *1*, introduse pe suportul central *2*, rigid, și strînse cu piuliţa *3*. Sensul de circulaţie este cel arătat de săgeţi. În afară de material textil, aceste filtre pot fi cu discuri din hîrtie, fibre din materiale plastice, fibre de sticlă etc.

FP cu element filtrant din hîrtie sînt filtre ce asigură o finețe de filtrare de 5—20 μm (în cazuri speciale, pînă la 2 μm), cu o suprafaţă mare și o grosime mică a elementului filtrant. Suprafața mare de filtrare se obţine prin gofrarea hîrtiei. Uneori este necesară folosirea unui suport metalic. Eficacitatea filtrării se mărește prin folosirea mai multor straturi de hîrtie. Acest tip de filtre se fabrică la noi în ţară la I.E.H. Rîmnicu-Vîlcea (fig. 8.10) (tabelul 8.3).

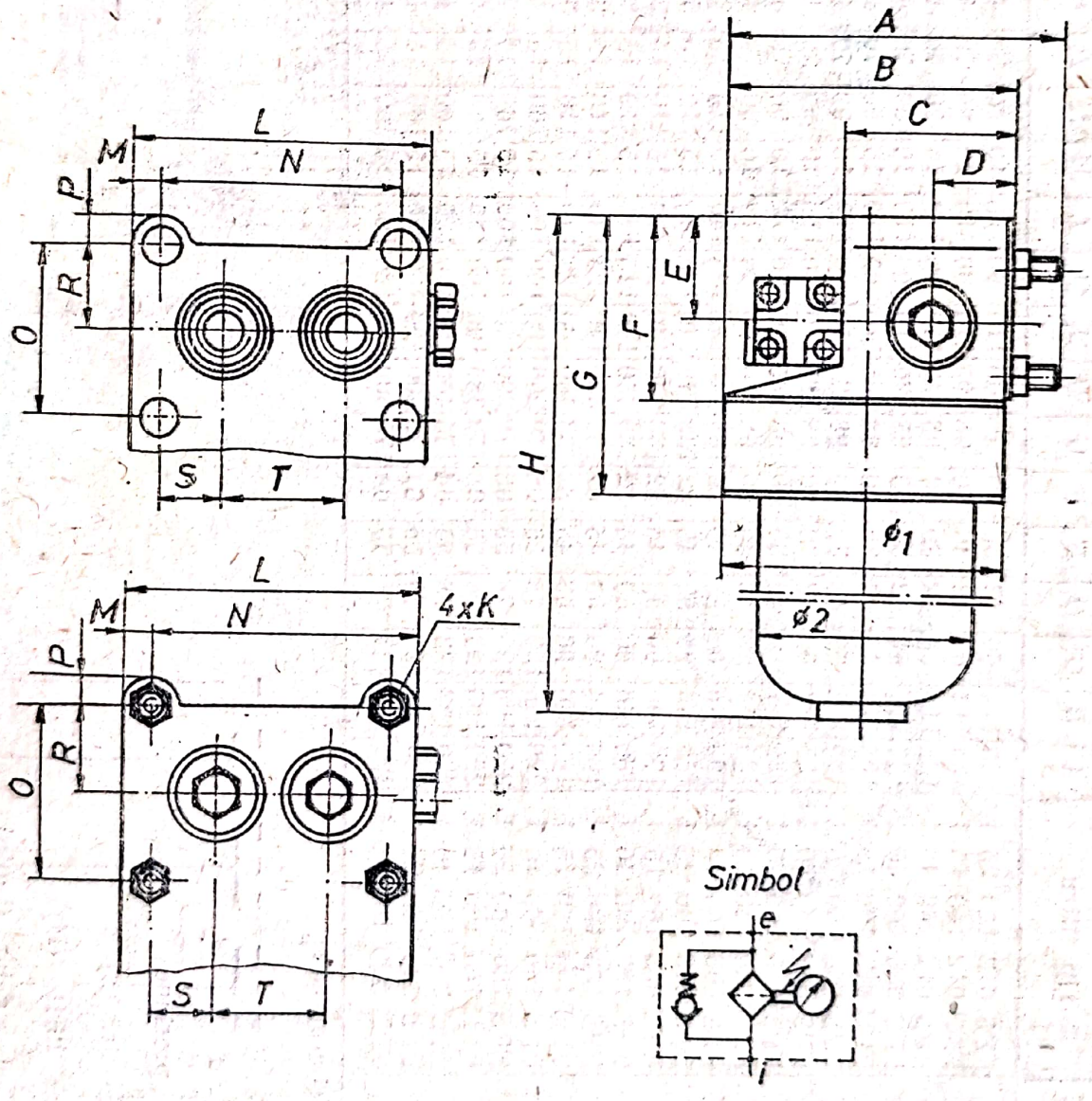


Fig. 8.10 Filtru de presiune cu element filtrant din hîrtie.

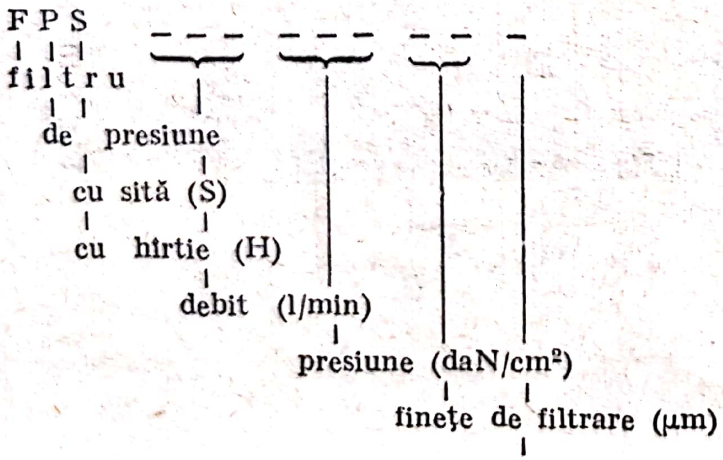
Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.3

Dimensiunile filtrelor de presiune fabricate la I.E.H. Rîmnicu-Vîlcea (fig. 8.10)

Nr. crt.	Tip filtru	A	B	G	D	E	F	G	H	$Ø_1$	$Ø_2$	L	M	N	P	R	S	T	K	$Ø_3$	O
1	FPS 012 160 25 1	135	114	69	42	30	60	98	160	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
2	FPH 012 160 15 1	135	114	69	42	40	60	98	195	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
3	FPS 012 160 40 1	135	114	69	42	30	60	98	160	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
4	FPS 025 160 40 1	135	114	69	42	30	60	98	220	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
5	FPH 025 160 15 1	135	114	69	42	30	60	98	285	110	90	110	10	90	70	40	24	40	M8	M22×1,5	40
6	FPS 025 160 25 1	135	114	69	42	30	60	98	220	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
7	FPS 040 160 40 1	135	114	69	42	30	60	98	285	110	90	110	10	90	70	40	24	40	M8	M22×1,5	40
8	FPS 040 160 25 1	135	114	69	42	30	60	98	285	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
9	FPH 040 160 15 1	135	114	69	42	30	60	98	380	110	90	110	10	90	70	40	25	40	M8	M22×1,5	40
10	FPS 063 160 40 1	160	146	90	53	45	82	133	240	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
11	FPS 063 160 25 1	160	146	90	53	45	82	133	240	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
12	FPH 063 160 15 1	160	146	90	53	45	82	133	340	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
13	FPS 100 160 40 1	160	146	90	53	45	82	133	350	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
14	FPS 100 160 25 1	160	146	90	53	45	82	133	350	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
15	FPH 100 160 15 1	160	146	90	53	45	82	133	460	140	125	140	15	110	15	30	20	55	M10	M33×2	60
16	FPS 160 160 40 1	220	193	123	78	55	108	179	290	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80
17	FPS 160 160 25 1	220	193	123	78	55	108	179	290	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80
18	FPH 160 160 15 1	220	193	123	78	55	108	179	385	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80
19	FPS 320 160 40 1	220	193	123	78	55	64	175	400	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80
20	FPS 320 160 25 1	220	193	123	78	55	64	175	400	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80
21	FPH 320 160 15 1	220	193	123	78	55	64	175	600	190	160	190	15	160	15	40	35	85	M12	M48×2	80

Explicitare cod:



Scanned with OKEN Scanner

În alcătuirea acestor filtre, intră capul filtrului *1*, pe care se monmontează supapa de ocolire *4* şi indicatorul de îmbîcsire *5*. Traseul fluidului este cel indicat prin săgeţi. Pentru motoare , se folosesc filtre capsulate de tipul celui prezentat în fig. 8.11.

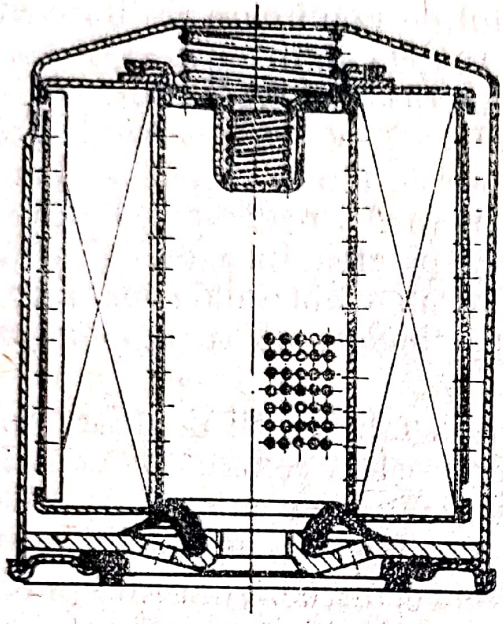
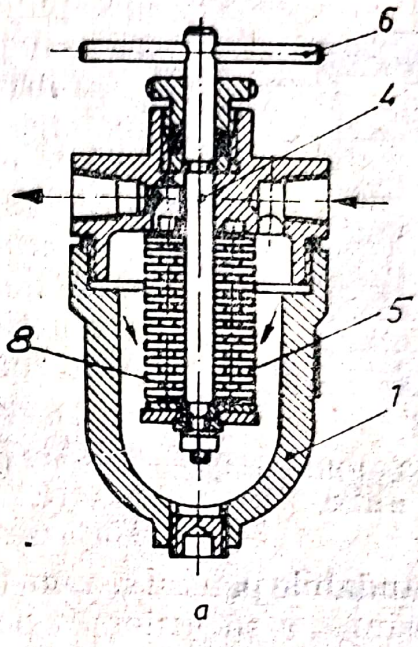
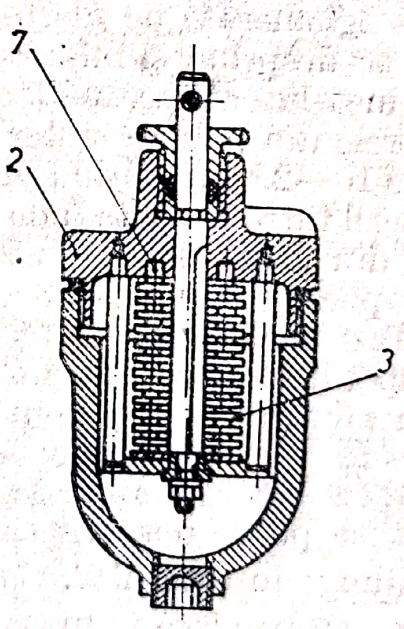


Fig. 8.11. Filtru pentru utilaje mobile.



a



b

Fig. 8.12. Filtre lamelare. →

Filtrele lamelare, prezentate în fig. 8.12, sînt compuse din : corpul *1* capacul *2*, lamelele *3*, care se montează succesiv, cîte una din fiecare pe axul central *4*. Cuţitele *8* servesc pentru curăţirea elementului

filtrant. Fluidul intră în corpul filtrului, pe traseul indicat prin săgeţile din figură şi trece, prin fantele care se formează între lamele, în sistemul hidraulic. Pentru curăţire, se roteşte periodic (manual sau automat) axul central *4*, cu ajutorul manetei *6*, iar cuţitele *8* montate între lame, fiind fixe faţă de acestea, îndeplinesc rolul de răzuitoare ale impurităţilor ce se depun în fantele de filtrare.

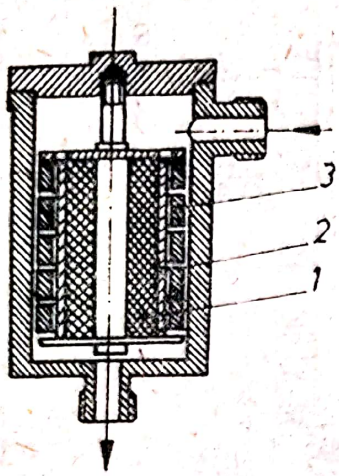


Fig. 8.13. Filtre magnetice.

Filtrele magnetice (fig. 8.13) constau dintr-un magnet permanent *1*, cămaşa nemagnetică *2* şi inelele colectoare *3*, fixate în pachet la o anumită distanţă între ele, realizată cu distanţiere de alamă. Prin spălarea inelelor colectoare de către lichid, se reţin incluziunile metalice feromagnetice şi particulele ce se aglomerează în jurul lor.

Destul de des, fabricanţii de filtre folosesc coloane magnetice şi în centrul elementelor filtrante alcătuite din alte materiale filtrante. Deşi destul de des folosite, aceste filtre nu sînt recomandabile pentru sistemele hidraulice, întrucît, datorită pulsaţiilor de presiune, a şocurilor la pornirea instalaţiei sau a vibraţiilor, particulele aglomerate pe filtru, care au căpătat deci proprietăţi magnetice, se desprind şi migrează în instalaţie, depunîndu-se ferm pe părţile metalice ale acesteia.

Filtrele din pulberi sinterizate asigură, în general, o fineţe de filtrare de 10—25 μm, putînd, în condiţii speciale, să ajungă la 2—5 μm. Elementul filtrant poate fi de tip pahar (fig. 8.14) sau taler (fig. 8.15). Aceste din urmă filtre se află în fabricaţie la Intreprinderea FMR Cluj-Napoca (tabelul 8.4).

Pentru unele motoare termice, se folosesc, pe traseul de refulare al pompei hidraulice, filtre de tip centrifugal (fig. 8.16). Filtrarea se face cu ajutorul unor elemente în rotaţie, care, antrenînd lichidul pe baza forţei centrifugale, separă din acestea contaminanţii. În fig. 8.16, *a* şi *b* sînt reprezentate schematic aceste tipuri de filtre. În fig. 8.16, *a*, se poate observa că lichidul intră prin tubul central *1*, de unde ajunge în rotorul *2*. Sub acţiunea forţei centrifuge T_{ct}, particulele a_1, suspendate în masa de bază a lichidului şi avînd greutatea specifică superioară acestuia, sînt proiectate pe pereţii rotorului, unde formează o pojghiţă densă, ce poate fi curăţată. În fig. 8.16, *b*, prin spaţiile *1*, particulele sînt trimise spre periferia rotorului *2*, care se roteşte în carcasa *3* pe rulmenţii *4*.

Scanned with OKEN Scanner

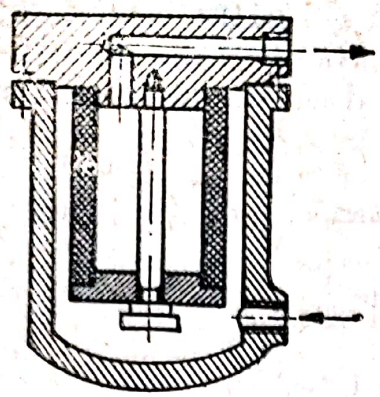


Fig. 8.14. Filtru cu element filtrant, tip pahar, din pulberi sinterizate.

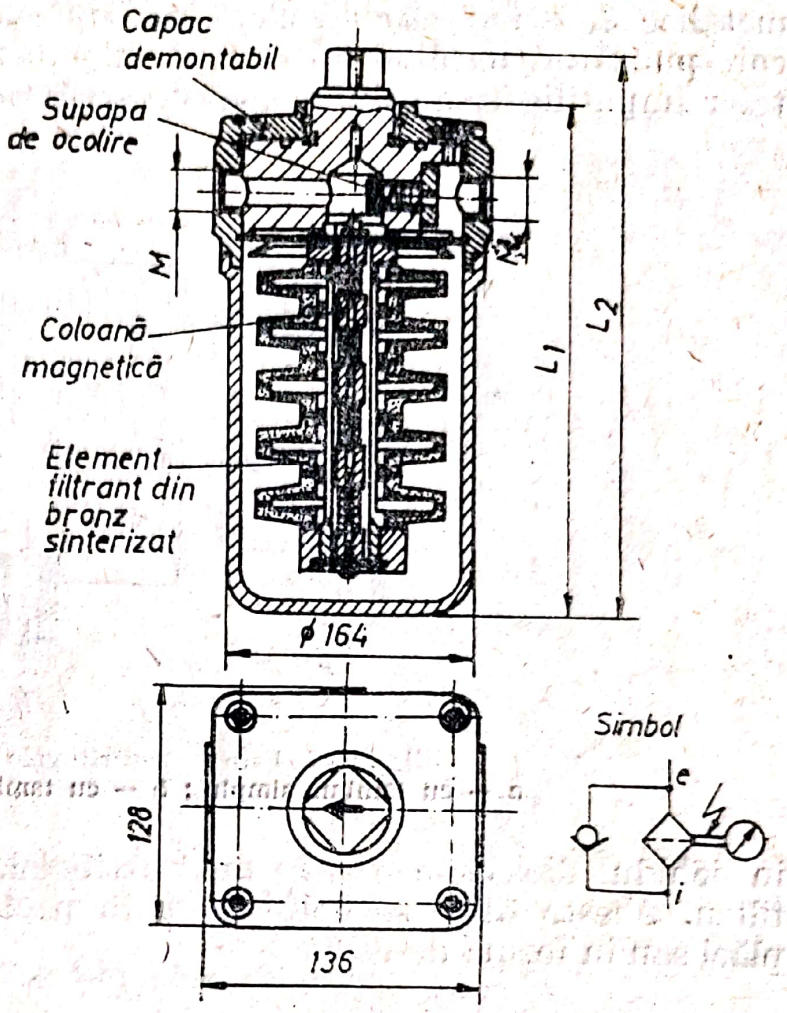


Fig. 8.15. Filtru cu element filtrant, tip taler, din pulberi sinterizate. →

Tabelul 8.4

Dimensiunile filtrelor de presiune fabricate la FMR Cluj-Napoca (fig. 8.15)

Nr. crt.	Tip filtru	Debit [l/min]	Finețea de filtrare [μm]	Presiunea de lucru [daN/cm²]	L_1	L_2	M
1	669.22.01.000	20	25	320	247	264	M22×1,5
2	669.22.02.000	40	25	320	247	264	M22×1,5
3	669.22.03.000	60	25	320	329	346	M27×1,5

Pentru filtrarea fină a lichidelor dielectrice, se folosesc metode de filtrare electrostatice, care constau în trecerea fluidului printr-un cîmp electrostatic, format din electrozii *1* și *2* (fig. 8.17, *a*, *b*), conectați la o sursă de curent continuu cu o tensiune de 300—500 V. Particulele

metalice *3*, avînd sarcină electrică, sînt atrase de către electrodul corespunzător, formînd un strat de depuneri *4*. Electrizarea elementelor impurificatoare din suspensie se face, fie datorită mișcării lor

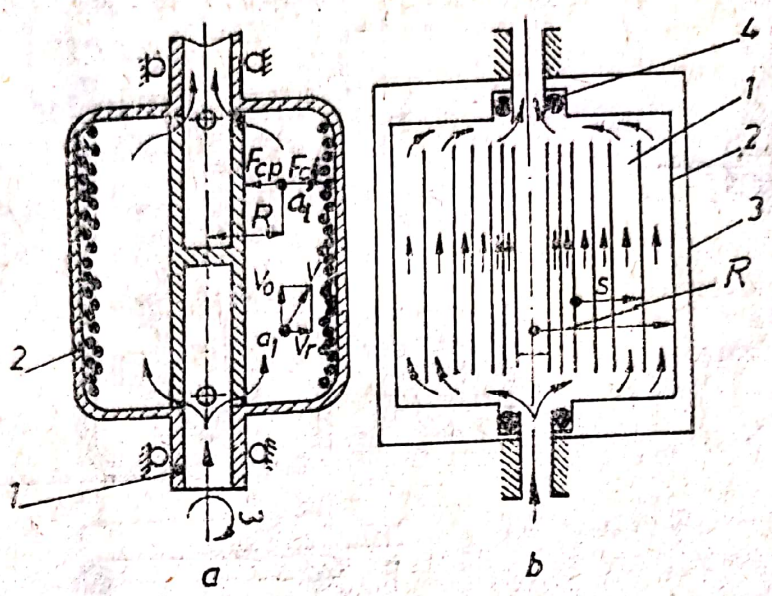


Fig. 8.16. Fiiltre centrifugale:
a — cu tambur simplu; *b* — cu tambur cu canale.

în lichidul dielectric, fie, în mod artificial, la intrarea lichidului în filtru. Aceste filtre se construiesc în pachet de electrozi metalici, plăci sau în formă de disc.

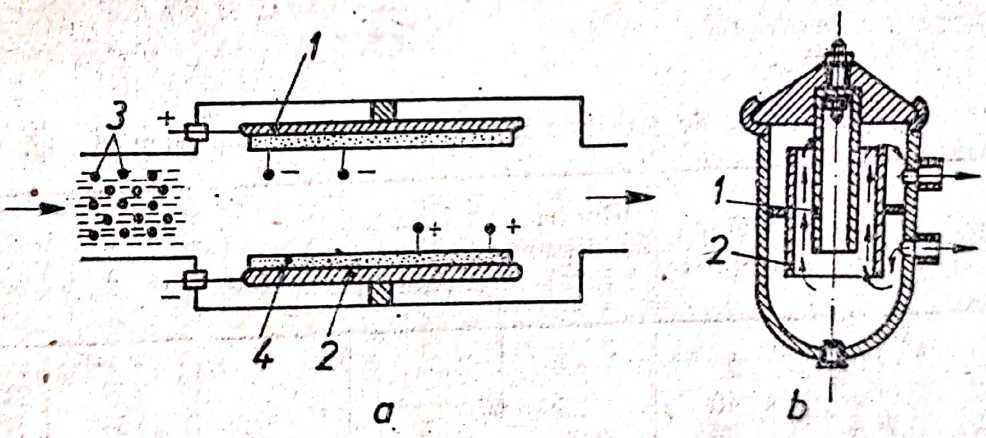


Fig. 8.17. Filtre electrostatice:
a — cu electrozi plani; *b* — cu electrozi cilindrici.

Filtrele bobinate (fig. 8.18) sînt formate dintr-o piesă de bază cilindrică *1*, pe care este executat un filet cu pas determinat. Pe aceasta, se înfășoară un fir de sîrmă de oțel inoxidabil. Acest tip de filtre, folosite în general pentru debite mici, asigură o finețe de filtrare pînă

la 5 μm. Filtrele bobinate se folosesc, în general, în sistemele hidraulice folosite în aviație.

Filtrele de presiune se folosesc pentru presiuni ce variază de la cîțiva daN/cm² pînă la valori de peste 1000 daN/cm² și pentru debite de la cîțiva cm³/min (pentru circuitele de ungere) și pînă la peste 2000 l/min. În aceste din urmă caz, se folosesc baterii cu 2—8 filtre (fig. 8.19).

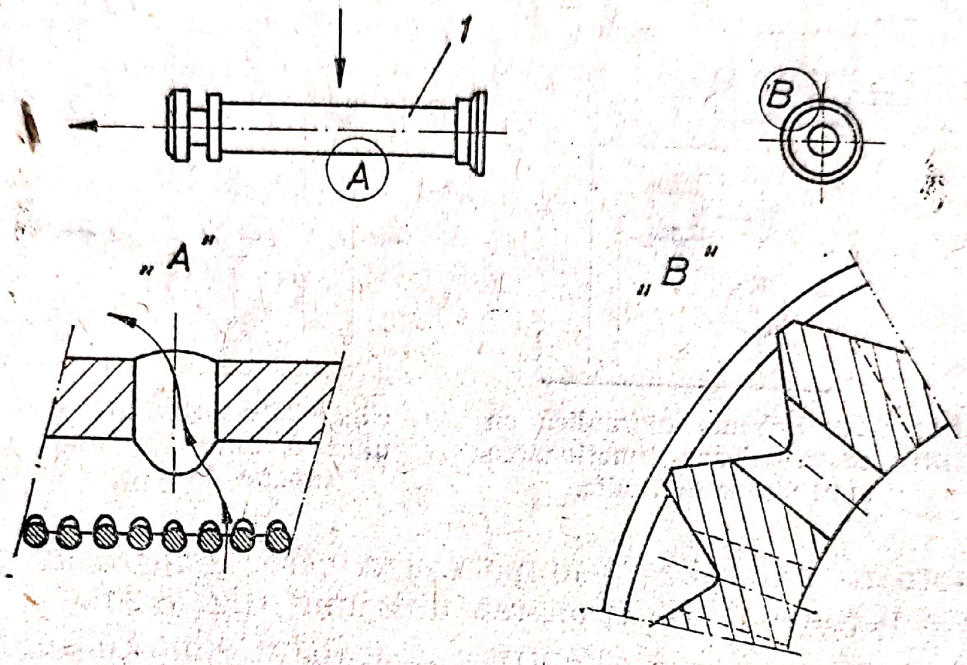


Fig. 8.18. Fltre bobinate.

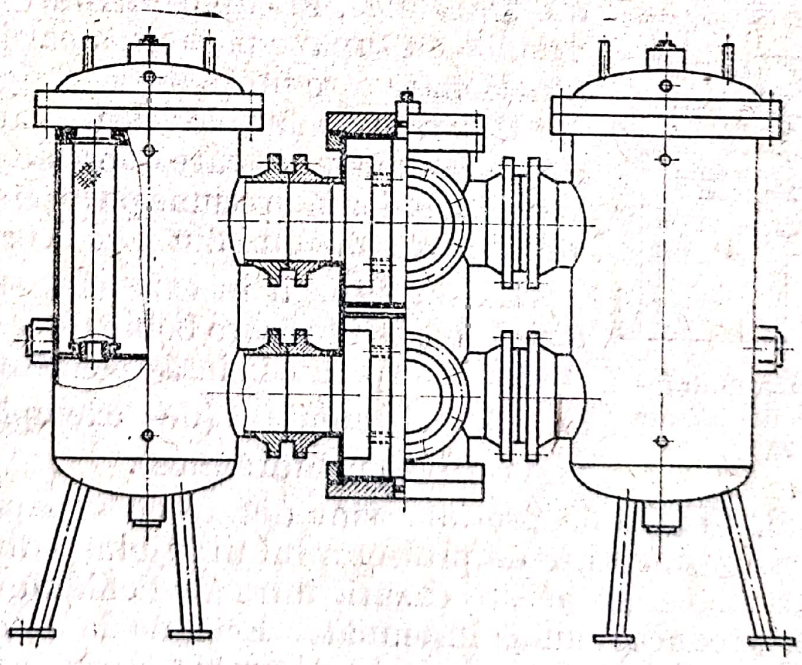


Fig. 8.19. Filtre de presiune de debit mare.

Scanned with OKEN Scanner

Folosite pe circuitul de presiune *FP* cu finețe de filtrare de 5—10 μm, se utilizează pentru protejarea unor elemente filtrante cu sensibilitate mare la contaminare (servovalve) sau pentru a proteja

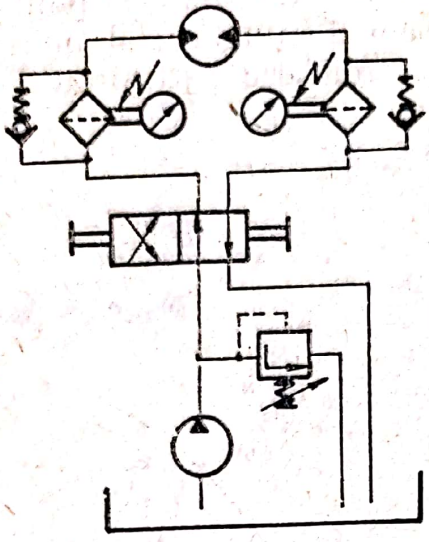


Fig. 8.20. Schema hidraulică cu filtre ce protejează funcționarea unui motor hidraulic.

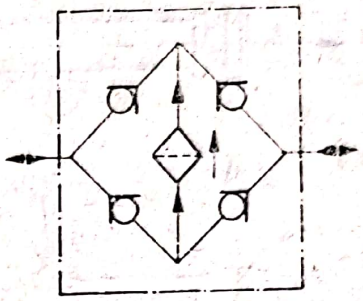


Fig. 8.21. Schema hidraulică a unui bloc de supape de sens.

unele motoare hidraulice scumpe sau a căror gripare ar produce însemnate pagube în funcționarea utilajului (fig. 8.20).

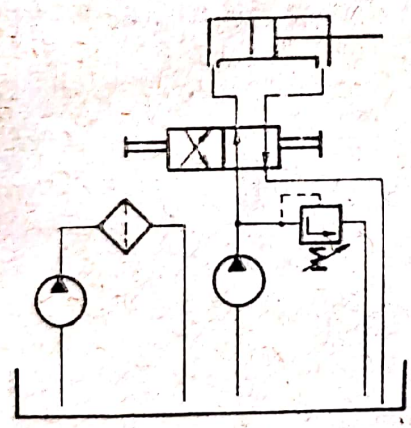


Fig. 8.22. Schema hidraulică cu circuit de filtrare auxiliar.

Pentru a fi străbătute întotdeauna în același sens, la filtrele montate în astfel de scheme hidraulice, în capul filtrului se montează un bloc cu supape pe sens, a cărui schemă de funcționare este prezentată în fig. 8.21.

Una dintre soluțiile cele mai utilizate în ultima vreme este cea care folosește *FP* ce funcționează la joasă presiune pe un circuit auxiliar de filtrare a uleiului din rezervorul hidraulic.

Există situații în care elemente filtrante din pulberi sintetizate bobinate sau site metalice sînt incorporate în însăși elementele hidraulice ale sistemului (de exemplu în cazul servovalvelor hidraulice).

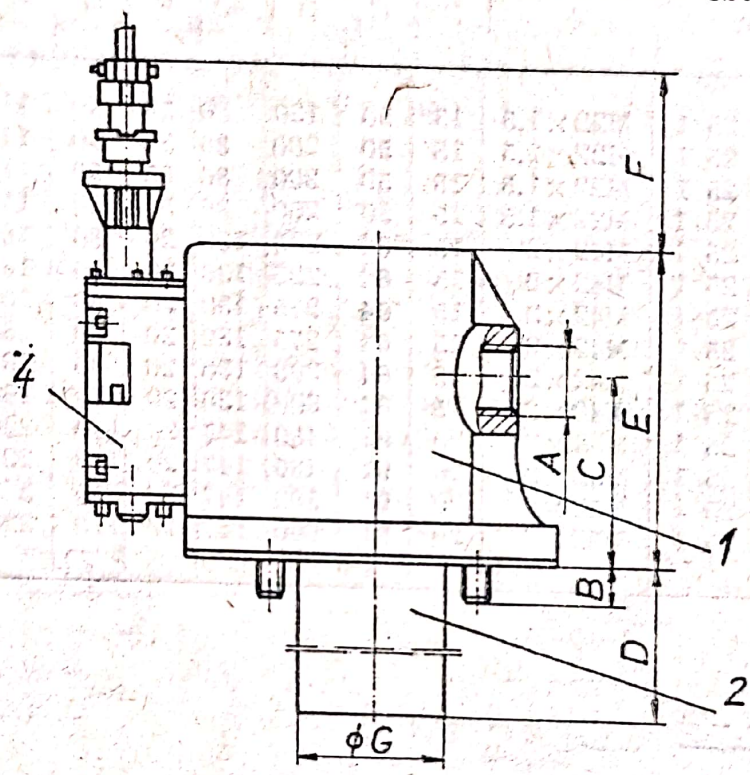
În general, filtrele de presiune sînt dotate cu supape de ocolire. Există însă situații, cerute de proiectantul utilajului, în care aceste supape sînt anulate. În aceste cazuri, intrarea lichidului nefiltrat în instalație ar produce daune însemnate. Este de la sine înțeles că, pentru astfel de sisteme, sesizoarele de îmbîcsire au un rol sporit.

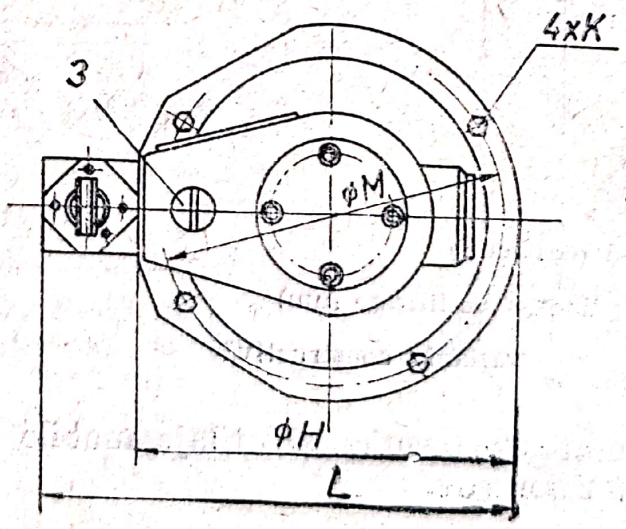
Scanned with OKEN Scanner

8.3. Filtre hidraulice montate pe circuitul de retur

Aceste filtre, ce funcţionează la presiuni scăzute, sînt dotate cu sesizoare de îmbîcsire şi supape de ocolire. Finețea de filtrare a acestor filtre este cuprinsă între 15 şi 45 μm. Pentru a nu afecta performanţele dinamice ale servoelementelor hidraulice montate în instalaţie, filtrele de retur (*FR*) au căderi de presiune scăzute, 1—2 daN/cm².

Filtrele de retur se pot monta, atît pe conductă în instalaţia hidraulică, cît şi în rezervor (fig. 8.23). Un filtru de retur este executat din





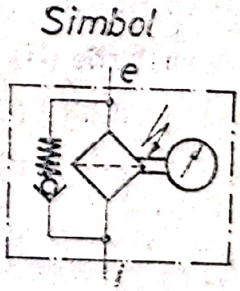


Fig. 8.23. Filtru de retur.

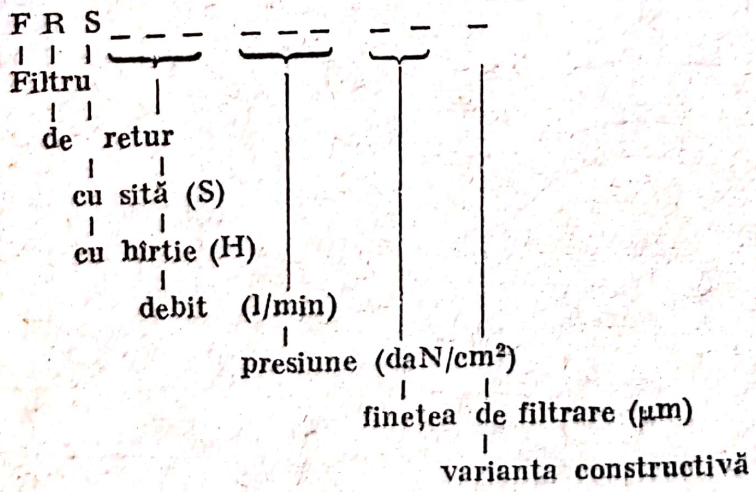
capul filtrului *1*, elementul filtrant *2*, supapa de ocolire *3* și sesizorul de îmbîcsire *4*. Elementele filtrante sînt construite, în general, din hîrtie filtrantă. Ele pot fi însă realizate și din sită sau împîsliturі textile. Filtre de retur pentru instalații hidralice se fabrică la I.E.H. Rîmnicu-Vîlcea (tabelul 8.5).

Tabelul 8.5

Dimensiunile filtrelor de retur fabricate la I.E.H. Rîmnicu-Vîlcea (fig. 8.23)

Nr. crt.	Tip filtru	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*K*	*L*	*M*
1	FRS 012 000 25 1	M22×1,5	15	50	130	86	55	50	116	M6	143	102
2	FRH 012 000 25 1	M22×1,5	15	50	200	86	55	50	116	M6	143	102
3	FRS 025 000 25 1	M22×1,5	15	50	200	86	55	50	116	M6	143	102
4	FRH 025 000 25 1	M22×1,5	15	50	200	86	55	50	116	M6	143	102
5	FRS 040 000 25 1	M42×2	15	64	225	130	20	80	166	M10	185	140
6	FRH 040 000 25 1	M42×2	15	64	225	130	20	80	166	M10	185	140
7	FRS 063 000 25 1	M42×2	15	64	275	130	20	80	166	M10	185	140
8	FRH 063 000 25 1	M42×2	15	64	275	130	20	80	166	M10	185	140
9	FRS 100 000 25 1	M42×2	15	64	300	130	20	80	166	M10	185	140
10	FRH 100 000 25 1	M42×2	15	64	300	130	20	80	166	M10	185	140
11	FRS 160 000 25 1	M52×2	20	91	480	147	20	110	220	M12	247	207
12	FRH 160 000 25 1	M52×2	20	91	480	147	20	110	220	M12	247	207
13	FRS 320 000 25 1	M52×2	20	91	500	147	20	110	220	M12	247	207
14	FRH 320 000 25 1	M52×2	20	91	600	147	20	110	220	M12	247	207

Explicitare cod:



Filtre pentru motoare termice și utilaje mobile se fabrică și la Intreprinderea nr. 2 Brașov.

Scanned with OKEN Scanner

În general, *FR* se montează pe conducta de retur a instalației hidraulice (fig. 8.24).

Există situații în care, pentru a asigura filtrarea continuă a uleiului la debit constant, se folosește schema hidraulică din fig. 8.25, sau cea din fig. 8.26.

Alegerea tipului de filtrare, a elementului filtrant și a modului de montare în instalație se face în funcție de: destinația instalației hidraulice; debitul la care lucrează; presiunea maximă de funcționare; mediul hidraulic; elementele hidraulice din schema hidraulică; temperatura de funcționare; natura impurifianților prezumtivi.

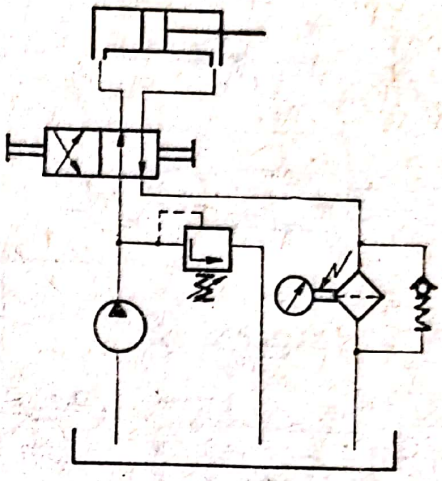


Fig. 8.24. Filtru de retur montat pe conducta de retur a instalației.

De exemplu, pentru o instalație hidraulică destinată unui sistem electrohidraulic de servoacționare, se recomandă schema hidraulică din fig. 8.27. În schemă nu s-a montat filtru de aspirație pentru protejarea pompei la contaminanții de pe conducta de aspirație. În cazul în care se asigură etanșeitatea rezervorului și se montează un circuit suplimentar de curățire a uleiului, se admite și această so-

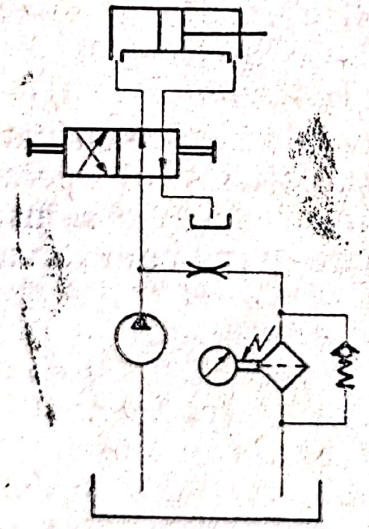


Fig. 8.25. Filtru de retur ce funcționează la debit constant.

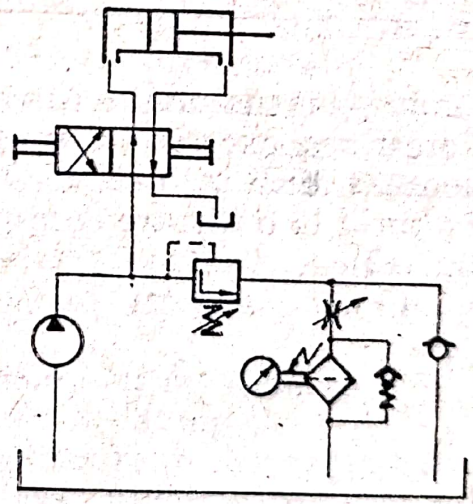


Fig. 8.26. Filtru de retur montat la ieșirea din supapa de reglare a presiunii.

luție. Avantajul constă în creșterea durabilității pompei prin preîntîmpinarea fenomenului de cavitație. Cele două filtre de presiune mon-

Scanned with OKEN Scanner

tate în serie asigură două trepte de filtrare, deci o creștere a eficienței și durabilității filtrului de 10 μm.

Este nevoie de mult discernămînt și experiență din partea proiectantului pentru a alege filtrele necesare în instalație, întrucît tendința

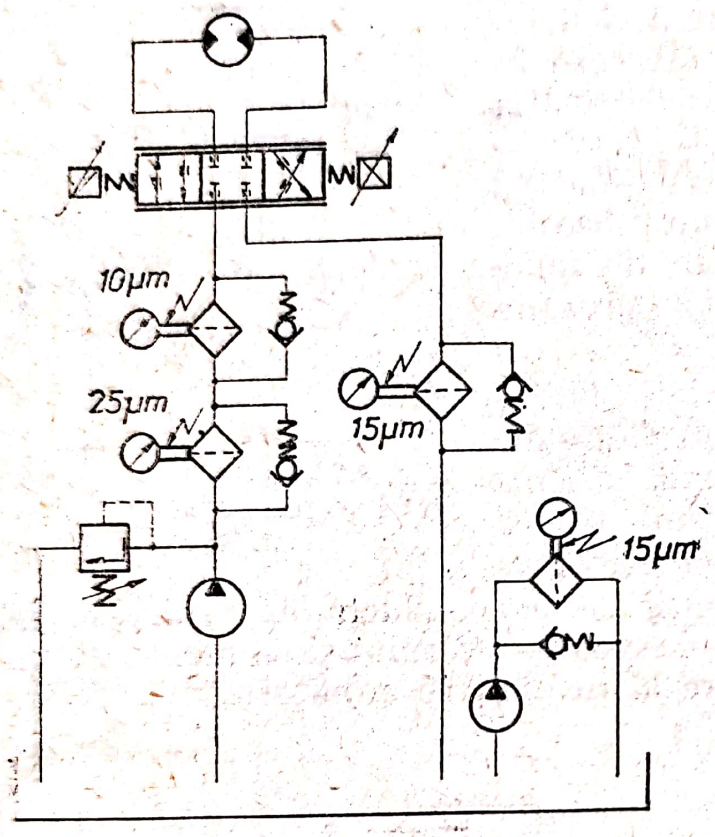


Fig. 8.27. Schemă hidraulică pentru servocomandă.

este de a monta cît mai multe filtre cu finețe de filtrare cît mai mică. Pe lîngă creșterea excesivă a prețului instalației și al operației de service, aceasta duce la o scădere a fiabilității generale a instalației și nu obligatoriu la o filtrare corespunzătoare (după cum se va vedea în capitolul 12).

9.

Instalații
de filtrare a lichidelor de răcire-ungere

Prelucrarea prin așchiere a rămas una dintre cele mai importante metode de obținere a pieselor metalice în formă finită.

În cadrul sistemului om-mașină-sculă, ce acționează pentru prelucrarea piesei, un rol deosebit revine și echipamentelor auxiliare, care, direct sau indirect, concură la realizarea produsului la nivelul calitativ cerut. Dintre aceste echipamente auxiliare, instalațiile de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere au un important rol, atît în procesul de detașare a așchiei, cît și în realizarea unei rugozități corespunzătoare a suprafeței prelucrate.

În timpul procesului de așchiere a metalelor, rezultă așchii de dimensiuni și forme variate. Acestea sînt îndepărtate, de cele mai multe ori, din zona de așchiere, chiar de către lichidul de răcire-ungere.

Alegerea și utilizarea unei instalații optime, pentru vehicularea și epurarea lichidelor de răcire-ungere, cît și a lichidului de răcire-ungere (*LRU*) adecvat, duce la:

— creșterea productivității procesului de așchiere;
— creșterea preciziei de prelucrare a pieselor;
— obținerea unei calități superioare a suprafețelor așchiate;
— creșterea durabilității sculelor așchietoare;
— prelungirea duratei de funcționare optimă a mașinii-unelte;
— protecția operatorului și a mediului înconjurător.

Alegerea lichidului de răcire-ungere, pentru un anumit tip de prelucrare, este una din condițiile tehnologice cele mai importante

Scanned with OKEN Scanner

în procesul de așchiere. Majoritatea firmelor producătoare de produse petroliere (Shell, Mobil, Castrol etc.) au în programul de fabricație și lichide de răcire-ungere. De asemenea, fabrici producătoare de produse chimice au în programul lor realizarea de *LRU* (Haughton, Curtis — Anglia). În ultimul timp, chiar firmele mari, producătoare de mașini-unelte, își fabrică propriul *LRU* (Cincinnati-Milacron, Toshiba).

Lichidele de răcire-ungere, în funcție de constituenții de bază, pot fi clasificate astfel:

— Uleiuri solubile, pe bază de petrol cu diverși aditivi. Acestea, împreună cu apa (1 — 20% ulei), formează emulsii cu o viscozitate de 1 — 2 cSt;

— Uleiuri de răcire-ungere pure. Acestea sînt tot produse petroliere cu diverși aditivi. Viscozitatea lor poate varia de la 12 la 45 cSt;

— Fluidele sintetice sînt soluții în apă ale diferiților compuși chimici;

— Fluidele semisintetice sînt o combinație între fluidele sintetice și uleiurile solubile.

Alegerea instalației de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere se face în funcție de:

— tipul prelucrării (degroșare, finisare, superfinisare);

— natura așchiilor (magnetice, nemagnetice, praf abraziv etc.);

— modul de trimitere a lichidului de răcire-ungere în zona de așchiere;

— cantitatea de lichid de răcire-ungere necesară în procesul de așchiere.

Debitul de *LRU*, necesar pentru o mașină-unealtă de prelucrare prin așchiere, se calculează cu formula:

$$Q = 14{,}6\,\frac{N}{\gamma C \Delta t} \quad [\text{l/min}], \tag{9.1}$$

în care: Q este debitul de *LRU* necesar, l/min;
N — puterea de acționare a motorului electric, kW;
γ — greutatea specifică a *LRU*;
C — capacitatea calorică a *LRU*, kcal/kg °C;
Δt — gradientul de temperatură admis, °C.

Temperatura *LRU* nu trebuie să depășească cu peste 10 ... 15°C temperatura mediului ambiant.

Presiunea de refulare a *LRU* către mașina-unealtă este de obicei de 0,1—0,5 kgf/cm². Uneori, această presiune poate fi și de 1—3 kgf/cm² (linii de transfer, strunguri automate, unele mașini de rectificat etc.). Pentru mașinile de rectificat cu viteze mari de așchiere, se recomandă instalații de vehicularea și epurarea *LRU*, cu o presiune de

Scanned with OKEN Scanner

refulare către mașină de 3—25 kgf/cm². Pentru mașini-unelte speciale (prelucrări pentru găuri adînci), presiunea de refulare a *LRU* poate ajunge chiar la 15—35 kgf/cm².

Pentru presiuni scăzute (0,1—0,5 kgf/cm²), refularea *LRU* către mașină se face cu electropompe centrifugale. La presiuni ridicate, se folosesc, de obicei, pompe cu roți dințate, luîndu-se precauții deosebite pentru filtrarea lichidului pe aspirația pompei.

Varietatea de metode de epurare a *LRU* a generat și o varietate de instalații. Dintre acestea, cele mai utilizate sînt:

— instalații de epurare a *LRU* prin decantare;
— instalații cu bandă filtrantă;
— instalații folosind filtre din diverse materiale metalice sau nemetalice;
— instalații cu filtre magnetice;
— instalații de filtrare cu pămînt diatomeic (kiselgur);
— separatoare centrifugale;
— hidrocicloane;
— instalații cu separatoare magnetice sau diverse combinații ale acestor tipuri de instalații.

În continuare, vor fi prezentate cîteva dintre cele mai folosite instalații de vehiculare și epurare a *LRU*.

9.1. Instalații de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere prin decantare

Acestea sînt cele mai simple instalații de vehiculare și epurare a *LRU*. După cum rezultă din fig. 9.1, ele sînt formate dintr-un bazin *1*, electropompa *2* și sita pentru filtrarea grosieră *3*.

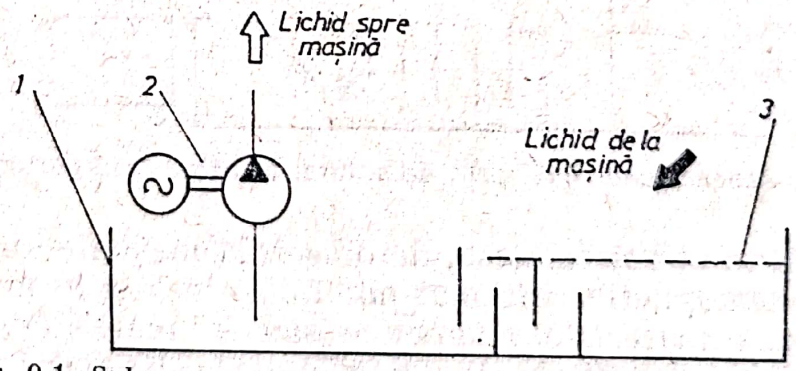


Fig. 9.1. Schema unei instalații de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere (IRU) prin decantare.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru a asigură un schimb de căldură corespunzător cu mediul ambiant, se recomandă o capacitate a rezervorului de 3—5 ori mai mare decît debitul pompei, în l/min. Rezervorul este prevăzut cu șicane, pentru a asigura o „liniștire" a fluidului, care îmbunătățește eficiența decantării și permite separarea particulelor aflate în suspensie la suprafață.

Uneori, pentru accelerarea sedimentării, pe fundul bazinului se montează o placă magnetică. Deși eficiența sedimentării crește, această soluție este rar folosită, întrucît curățirea bazinului este mult mai greoaie.

Pompa de refulare este, de obicei, de tip centrifugal. În cazurile în care se cere o presiune de refulare de peste 3 kgf/cm², se pot folosi și pompe cu roți dințate. În acest caz, pe conducta de aspirație a pompei, se montează un filtru de aspirație cu sită, cu o finețe de filtrare de 160—200 μm. Întotdeauna, pompa se montează la capătul opus sitei pe care vine lichidul murdar de la mașină. Sita *3* are dimensiunea ochiului de 3—5 mm, asigurînd o primă separare a așchiilor din *LRU* venit de la mașină. Aceste site sînt, în general, de forma unor tăvi, pentru a putea fi mai ușor golite. În cazul în care volumul de așchii este mare, lichidul murdar venit de la mașină cade pe un transportor cu racleți *3* (fig. 9.2), care transportă așchiile, descărcîndu-le într-un cărucior *4*. Racleții sînt confecționați din tablă perforată, permițînd lichidului să se scurgă în bazin. Există variante constructive în care acest transportor cu racleți se deplasează intermitent pe fundul bazinului, luînd așchiile depuse.

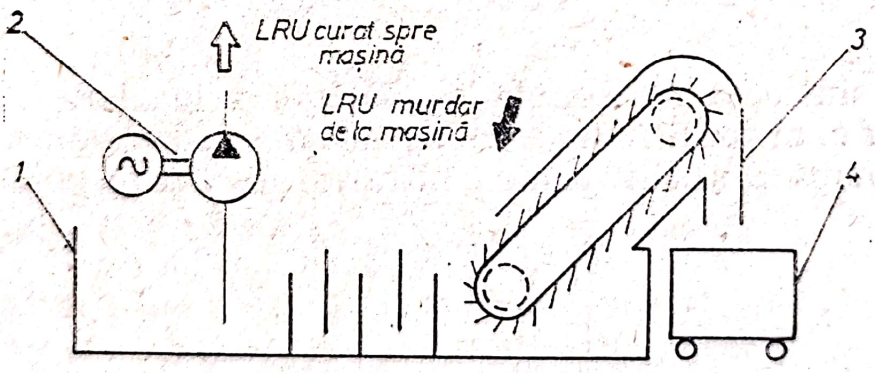


Fig. 9.2. Schema unei IRU prin decantare, utilizînd transportor cu racleți.

Aceste instalații se folosesc, de obicei, la mașinile-unelte ce așchiază metale nemagnetice. Se mai pot folosi însă și la mașinile-unelte ce prelucrează materiale magnetice sau la mașinile-unelte pentru prelucrări prin abraziune. Instalațiile de vehiculare și epurare a *LRU* prin decantare nu sînt produse de întreprinderi specializate

Scanned with OKEN Scanner

într-o serie tipizată. Ele diferă constructiv pentru fiecare familie de mașini-unelte, de multe ori bazinul de decantare fiind realizat constructiv chiar în batiul mașinii-unelte.

9.2. Instalații de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere cu bandă filtrantă

Aceste instalații sînt formate dintr-un rezervor metalic *1*, pe care se află doi tamburi *3* (fig. 9.3). Pe primul tambur, antrenat de către un motor electric prin intermediul unui reductor, se află înfășurată banda filtrantă curată. Printr-un lanț Galle, este antrenat cel de-al doilea tambur pe care se înfășoară banda filtrantă impurificată. Lichidul murdar vine de la mașină direct pe banda filtrantă. Impuritățile formează pe bandă o „turtă" *4*, care devine și ea material filtrant pentru lichid. Pe măsură ce cantitatea de impurități crește, banda filtrantă devine opacă pentru lichid, nivelul de lichid deasupra benzii crește, plutitorul *5*, acționînd un contact electric, comandă avansarea benzii filtrante. Impuritățile de pe bandă sînt depuse în căruciorul *6*. În zona de deversare a lichidului murdar de la mașină, este adusă, în felul acesta, o nouă porțiune de bandă filtrantă curată și procesul se repetă. Lichidul curat din rezervor este trimis către mașina-unealtă prin intermediul electropompei *2*.

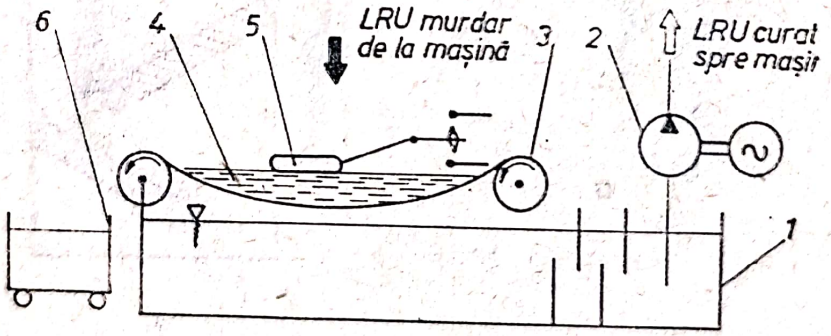


Fig. 9.3. Schema unei IRU cu bandă filtrantă.

Pentru mărirea eficienței filtrării, cînd cantitatea de așchii este mare, există variante constructive, în care, sub banda filtrantă, se creează un vacuum, sau deasupra benzii filtrante se creează o supra-presiune. Complicațiile constructive care apar măresc însă mult costul unei astfel de instalații.

Scanned with OKEN Scanner

O altă posibilitate, destul de des folosită, de a creşte eficienţa unor astfel de instalaţii este aceea de a introduce, ca treaptă de filtrare, utilizarea unui separator magnetic cu tambur.

Banda filtrantă folosită asigură o finețe de filtrare pînă la 10 — 15 μm. Aceste instalaţii se folosesc pentru maşinile-unelte de prelucrare prin abraziune.

9.3. Instalațiile de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere cu filtre magnetice

Există o mare varietate de instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu filtre magnetice. În esenţă, o astfel de instalaţie este formată dintr-un rezervor, o electropompă centrifugală şi un tip de filtru magnetic. Fig. 9.4, 9.5 şi 9.6 prezintă doar cîteva din metodele de filtrare folosite.

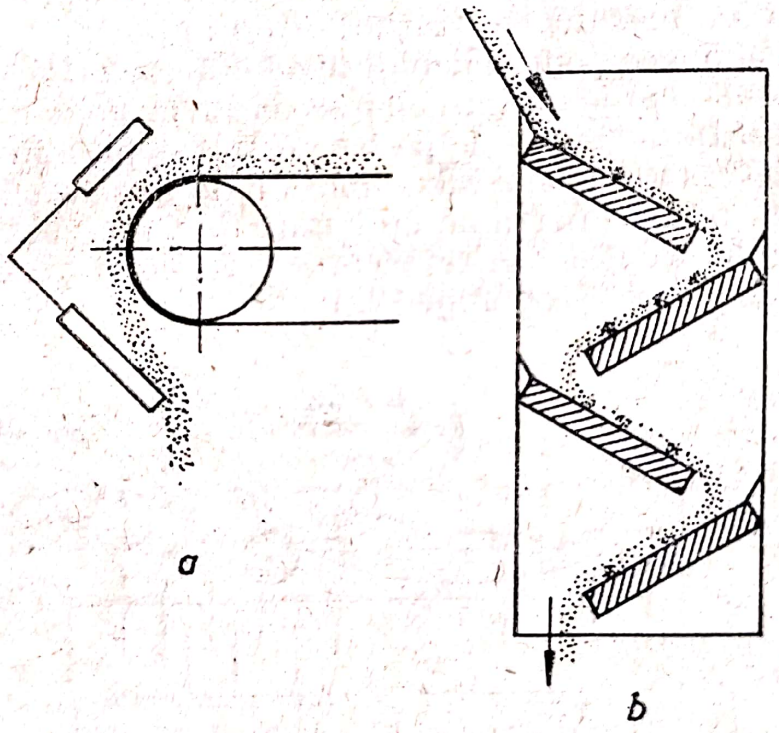


Fig. 9.4. Filtre ce folosesc plăci magnetice pentru reţinerea impurităţilor:
a — cu tambur; *b* — cu plăci înclinate.

Dezavantajul unor astfel de filtre constă în faptul că particulele metalice, care se desprind de pe filtrul magnetic, au proprietăţi magnetice, fiind mai greu de îndepărtat de pe părţile metalice ale maşinii.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste instalaţii se folosesc numai pentru maşinile-unelte ce aşchiază metale magnetice.

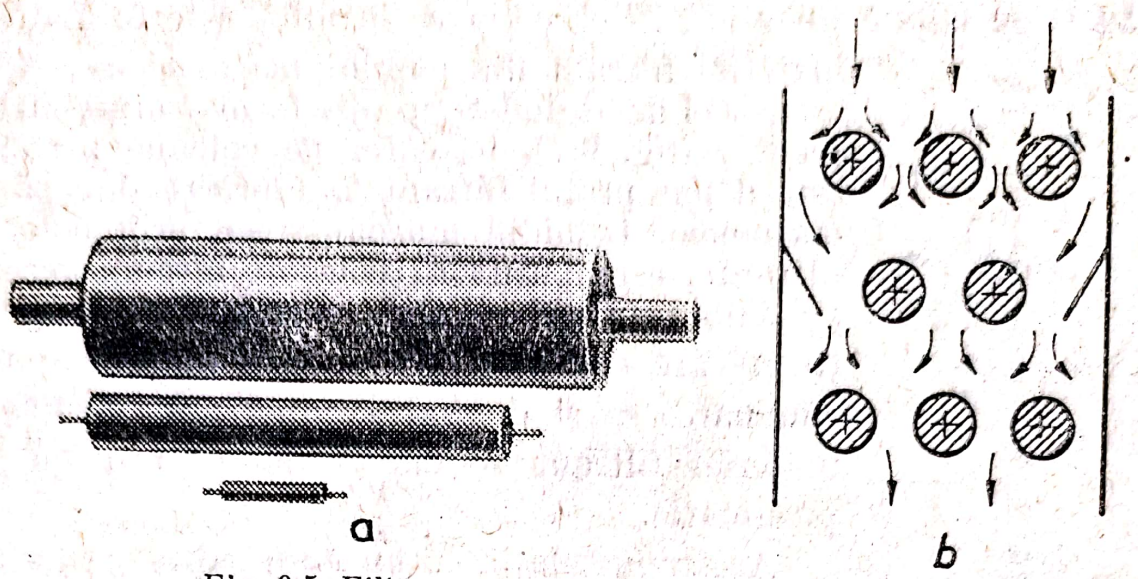


Fig. 9.5. Filtre magnetice cu cilindri magnetici:
a — vedere; *b* — secţiune.

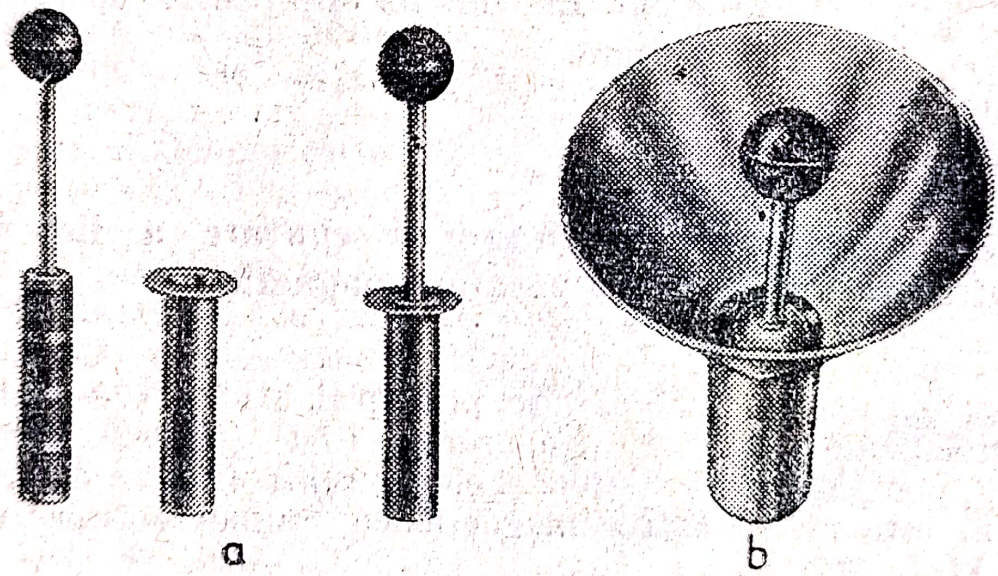


Fig. 9.6. Filtru cu coloană magnetică:
a — elemente componente; *b* — subansamblu.

9.4. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu pămînt diatomeic (kiselgur)

Pămînturile diatomeice sînt roci formate din sedimentarea fragmentelor cochiliilor de moluşte fosilizate. Printr-o metodologie specială de preparare, din aceste pămînturi se fabrică materiale cu foarte bune proprietăţi filtrante.

Scanned with OKEN Scanner

Există două tipuri de instalații ce folosesc pămînturi diatomeice:

— primul este o variantă a instalațiilor de vehiculare și epurare a *LRU* cu bandă filtrantă, în care turta filtrantă este formată din material filtrant din pămînt diatomeic:

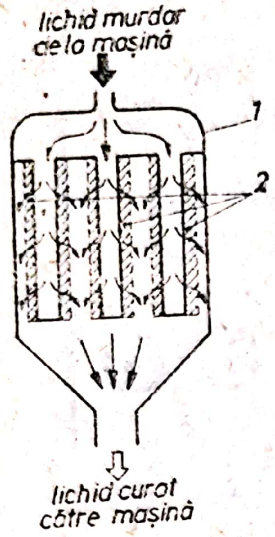


Fig. 9.7. Schema unui filtru utilizînd pămînturi diatomeice.

— cel de-al doilea tip este format dintr-un recipient *1* (fig. 9.7), în care, pe coloane perforate, este depus praful filtrant *2*, fabricat din pămînt diatomeic. Lichidul murdar trece prin coloanele filtrante, este purificat, colectat într-un rezervor și trimis apoi spre mașina-unealtă. Există instalații la care curățarea pămîntului diatomeic uzat, eliminarea sa și depunerea unei noi cantități de material filtrant se fac automat, mecanic sau pneumatic.

Aceste instalații, cu un cost ridicat, sînt folosite pentru realizarea unei finețe de filtrare de 2—8 μm. Ele sînt folosite pentru operații de superfinisare.

9.5. Instalații de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere cu separator magnetic

Aceste instalații sînt alcătuite, principial, la fel ca și celelalte tipuri de instalații de vehiculare și epurare a *LRU* (fig. 9.8), din: rezervorul *1*, pompa de recirculare *2* și elementul de filtrare, care, de data aceasta, este un separator magnetic cu tambur rotitor (fig. 9.9) [50; 51].

Tamburul magnetic rotitor *3*, format din inele fabricate din magneți permanenți, alternînd cu inele din material magnetic, este antrenat de motorul electric *5* prin intermediul unui reductor. Lichidul murdar, ce vine de la mașina-unealtă prin cădere liberă, trece prin locașul dintre tambur și corpul separatorului și cade în rezervor. Particulele metalice sînt reținute de tamburul magnetic, presate de către rola presoare *4* și curățate de pe tambur de către placa racloare *6*, de pe care cad în cutia colectoare *7*.

Pentru a se obține o forță de atracție maximă asupra unei particule puternic magnetizabile, situată la o distanță oarecare, trebuie ca

Scanned with OKEN Scanner

magnetizarea, şi mai ales neomogenitatea cîmpului în care se află, să fie mărite cît mai mult posibil. Neomogenitatea cîmpului este mult mai pronunţată între polii de acelaşi nume, în timp ce, între polii opuşi, cîmpurile sînt mai omogene. Prin mărirea distanţei dintre poli, se poate favoriza neomogenitatea cîmpului.

În cadrul separatoarelor magnetice, de obicei, între magneţi se montează piese polare. Acestea, pe lîngă rolul pe care-l au de a dirija fluxul magnetic, compensează şi unele defecţiuni de prelucrare ale magneţilor permanenţi, ajutînd în acelaşi timp prinderea.

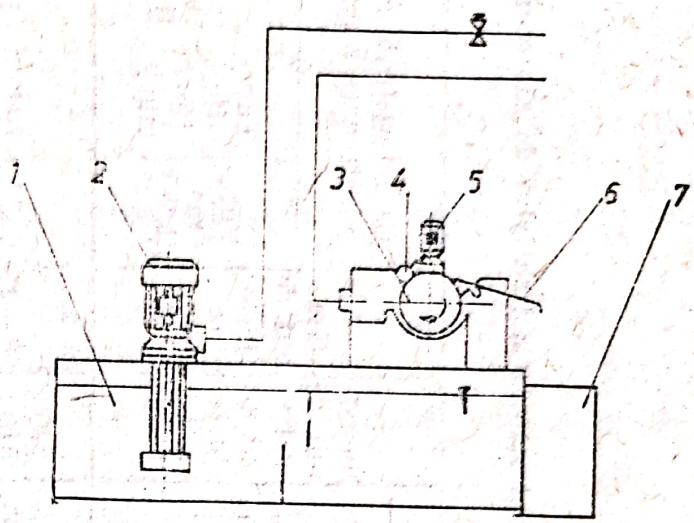


Fig. 9.8. Schema unui IRU cu separator magnetic.

Dimensionarea, găsirea formei şi a modului optim de dispunere pentru piesele polare ridică de multe ori probleme foarte dificile, a căror rezolvare necesită experimentări laborioase.

Pentru separatoarele magnetice fabricate la noi în ţară la IAMU. Blaj, aceste probleme au fost rezolvate în urma cercetărilor efectuate în cadrul ICSIT — „TITAN" — Bucureşti.

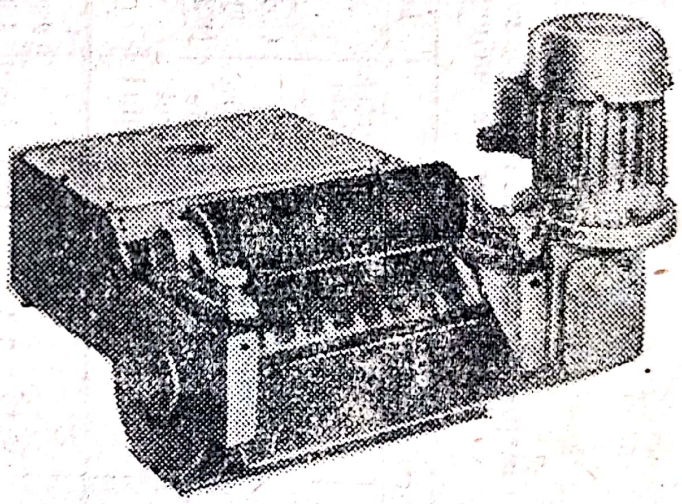


Fig. 9.9. Separator magnetic.

În alegerea magneţilor permanenţi, se urmăreşte ca aceştia să aibă o curbă de demagnetizare cît mai aplatizată. Pentru magneţii din pulberi de ferite sinterizate, care au curbe de demagnetizare mai aplatizate, se preferă formele de inel şi de disc, cu polii pe feţe, în timp ce la magneţii metalici din Alnico, care au inducţia magnetică mare şi intensitatea cîmpului magnetic mică, se preferă formele lungi şi subţiri pentru toate aplicaţiile practice.

În prezent, la majoritatea separatoarelor de acest tip, se folosesc magneţi anizotropi din ferite (mai ales ferite de bariu), care se pot obţine la un cost scăzut şi cu bune proprietăţi magnetice.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.1

Caracteristicile constructive şi funcţionale ale instalaţiilor de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu separator magnetic

Nr. crt.	Tipul instalaţiei	Electropompa						Rererver		Dimensiuni de gabarit ale instalaţiei [mm]	Gradul de epurare [%]	Caracteristicile motorului de antrenare a reductorului			
		Tip-Firma producătoare	Debit nominal [l/min]	Putere nominală [mCA]	Dimensiunea orificiului de refulare ["G]	Motor electric 220/380/500 50/60 Hz		Gabarit [mm]	Capacitate [l]			Puterea [kW]	Turaţia [rot/min]	Frecvenţa [Hz]	Tensiunea de alimentare [V]
						Putere [kW]	Turaţie [rot/min]								
1	SMI 25	MU 40 I.M. Strehaia	40	2,75	3/4	0,15	2 890	900 × 450 × 376	135	900 × 510 × 765	90—95	0,37	1440	50	220/380
2	SMI 50	MU 63 I.M. Strehaia	63	3,5	3/4	0,37	2 850	900 × 900 × 376	275	900 × 1060 × 765	90—95	0,37	1440	50	220/380
3	SMI 100	MU 100 I.M. Strehaia	100	5,5	1 1/4	0,75	2 790	1350 × 900 × 376	410	1350 × 1060 × 765	90—95	0,37	1440	50	220/380
4	SMI 160	MU 160 I.M. Strehaia	160	7,6	1 1/4	1,1	2 790	1800 × 1350 × 376	825	1800 × 1510 × 765	90—95	0,37	1440	50	220/380

Scanned with OKEN Scanner

Instalaţiile de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu separator magnetic se pot folosi cu succes pentru maşinile-unelte ce aşchiază materiale magnetice.

Pentru a avea o bună separare, se recomandă :

— vîscozitatea fluidului să nu depăşească 30 cSt ;

— raportul dintre particulele metalice şi cele nemetalice să fie cuprins între 1 : 5 şi 1 : 20.

Separatoarele magnetice cu tambur se pot folosi şi ca primă treaptă de filtrare pentru alte instalaţii.

La noi în ţară, instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere se fabrică într-o gamă tipizată la IAMU — Blaj. Principalele caracteristici ale acestor instalaţii sînt prezentate în tabelul 9.1.

9.6. Instalaţii de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu hidrocicloane

Instalaţiile cu hidrocicloane pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere sînt destinate exclusiv prelucrării prin abraziune. Alcătuite pe principiul modular, putînd fi montate în diverse poziţii faţă de maşina-unealtă şi avînd posibilitatea de a fi completate cu diverse elemente auxiliare (pompe de presiune ridicată, echipamente de termostatare a lichidelor de răcire-ungere etc.), aceste instalaţii pot servi o gamă largă de maşini [50 ; 51].

Pentru obţinerea unei bune epurări şi evitarea încălzirii excesive a lichidului de răcire-ungere, se recomandă următoarele :

— viscozitatea lichidului să nu depăşească 12 cSt ;

— greutatea specifică a particulelor solide să fie de cel puţin 2,5 ori mai mare decît greutatea specifică a lichidului ;

— concentraţia particulelor solide în suspensie în lichide să nu depăşască 3 g/l.

Construcţia instalaţiei este prezentată schematic în fig. 9.10. Lichidul de răcire-ungere, care spală zona de aşchiere şi ghidajele

Scanned with OKEN Scanner

mașinii, ajunge prin curgere liberă prin sita *5* în rezervorul secundar *4*. De aici, pompa *2* îl aspiră și îl trimite în hidrociclon sau în bateria de hidrocicloane *1* cu presiunea de 3 — 3,6 daN/cm². Lichidul curat iese pe la partea superioară a hidrociclonului sau a bateriei de hidrocicloane cu presiunea de 0,5 daN/cm² și este trimis la mașină. În cazul în care robinetul de la mașină este închis, lichidul curat este deversat, prin supapa *7*, în rezervorul de lichid curat *3*. Surplusul de lichid murdar, care se scurge din cutia colectoare *6*, cade pe sita *5* și, de aici, în rezervorul secundar. Presiunea de 3—3,6 daN/cm², necesară la intrarea în hidrociclon sau în bateria de hidrocicloane, este generată de pompa *2* de tip centrifugal, imersat, cu o singură treaptă.

Hidrociclonul (fig. 9.11) este format din două părți : o parte cilindrică și o parte conică. Printr-un ajutaj de intrare *3* de secțiune dreptunghiulară, lichidul impurificat intră tangențial în hidrociclon la o

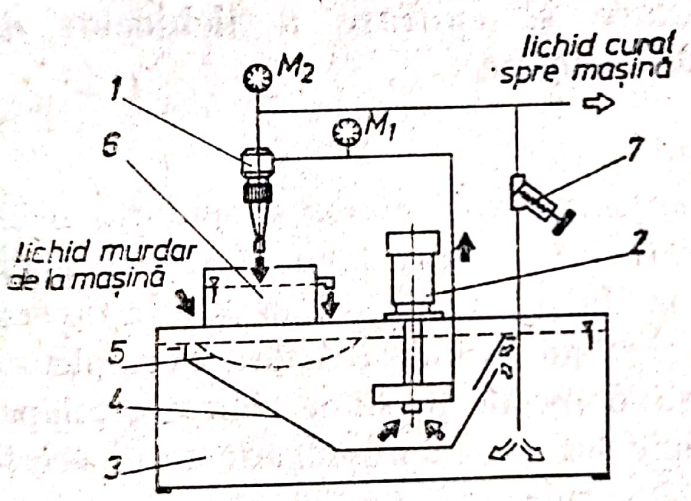


Fig. 9.10. Schema unui IRU cu hidrociclon.

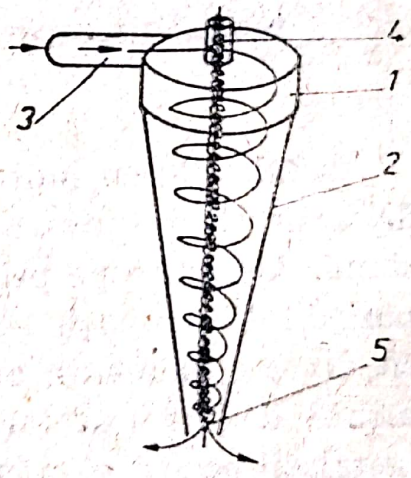


Fig. 9.11. Schema funcțională a unui hidrociclon.

presiune de 3—3,6 daN/cm². Pe această porțiune, viteza lichidului este de aproximativ 12—14 m/s cu o turbulență deosebit de ridicată. În partea superioară a hidrociclonului, există un profil în formă de elice, care imprimă fluidului o mișcare elicoidală, la început pe o generatoare cilindrică *1*, iar apoi pe o generatoare conică *2*. Prin micșorarea diametrului conului, rezistența hidraulică crește pînă cînd

Scanned with OKEN Scanner

lichidul este nevoit să se întoarcă, formînd o coloană ascendentă care este captată de ajutajul *4*, ieşind din hidrociclon cu o presiune de 0,5 daN/cm².

Pe porţiunea conică a hidrociclonului, viteza lichidului este crescîndă. În această porţiune, forţa centrifugă, care acţionează asupra particulelor dispersate în fluid, creşte, iar, datorită diferenţei de greutate specifică între faza solidă şi faza lichidă, particulele sînt aruncate spre periferie, unde, datorită componentei verticale a vitezei cu care ele se deplasează, sînt împinse de-a lungul peretelui spre vîrful conului, ieşind cu o mică cantitate de fluid pe la ajutajul de scurgere *5*.

Deplasarea lichidului curat în forma coloanei ascendente este tot în formă de elice cu o generatoare cilindrică. Această coloană este înconjurată de o manta de aer, care este absorbit de la partea inferioară a hidrociclonului. În afara acestei deplasări utile a lichidului, în hidrociclon există şi o serie de circuite parazite (fig. 9.12).

În afara circuitelor utile formate din circuitul principal *3* şi circuitul ascendent *2*, o cantitate de maximum 15% din debitul de intrare o formează circuitul direct *1*, al cărui traseu începe la intrarea în hidrociclon şi trece, de-a lungul peretelui superior, direct în ajutajul de ieşire, neluînd parte la operaţia de centrifugare, deci de separare a fazei solide din faza lichidă. Prin elicea care se prevede la partea superioară a hidrociclonului, debitul de fluid, care ia parte la acest circuit, este micşorat. Un alt circuit parazit este circuitul de întoarcere *4*, care are o direcţie ascendentă de-a lungul coloanei centrale, punctul de întoarcere în dreptul ajutajului de intrare în hidrociclon, după care fluidul, purtat pe această direcţie, este recirculat. Calculul hidrociclonului este prezentat în cadrul paragrafului 3.2.3.7., f.

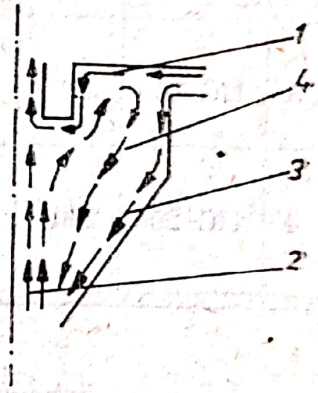


Fig. 9.12. Schema circuitelor parazite ale hidrociclonului.

Instalaţiile de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu hidrociclon se fabrică la noi în ţară la Întreprinderea de Accesorii pentru Maşini-Unelte — Blaj. Caracteristicile constructive şi funcţionale ale acestor instalaţii sînt prezentate în tabelul 9.2.

Aceste instalaţii funcţionează pînă la debite de 200 l/min. Pentru debite mai mari, se pot executa instalaţii centralizate cu număr mare de hidrocicloane.

Nr. crt.	Tipul instalației	Debitul nominal [l/min]	Presiunea la ieșirea din instalație [daN/cm²]	Numărul de hidrocicloane de 25 [l/min]	Electropompa						
					Tip-Firmă	Debit nominal [l/min]	Presiunea nominală [daN/cm²]	Motor electric			
								Putere [kW]	Turație [rot/min]	Tensiune de alimentare [V]	Frecvența [Hz]
1	HC 25	25	0,5	1	MUR 25 I.M. Strehaia	25	3,5	1,1	2 900	200/380	50
2	HC 50	50	0,5	2	MUR 50 I.M. Strehaia	50	3,5	1,5	2 900	220/380	50
3	HC 100	100	0,5	4	MUR 100 I.M. Strehaia	100	3,5	2,2	2 900	220/380	50
4	HC 200	200	0,5	8	MUR 200 I.M. Strehaia	200	3,5	3	2 900	220/380	50

9.7. Instalații centrifugale pentru vehicularea și epurarea lichidelor de răcire-ungere

Instalațiile centrifugale folosesc, pentru separarea fazei solide din faza lichidă, forța centrifugă. Ca principal element al unei astfel de instalații, este centrifuga. Fig. 9.13 și 9.14 prezintă cîteva variante constructive de centrifuge.

În funcție de modul de descărcare al impurităților colectate, centrifugele pot fi : cu descărcare manuală (fig. 9.13); cu descărcare semiautomată : cu descărcare automată (fig. 9.14).

Centrifugele pot separa faza solidă de faza lichidă (fig. 9.13), faza solidă de faza lichidă și, simultan, faza lichidă de densitate mare de cea de densitate mai mică (fig. 9.14).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 9.2

vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere cu hidrociclon

Rezervor		Cutie colectoare		Dimensiuni de gabarit ale instalaţiei [mm]	Diametrul racordului de ieşire ["G]	Finețea epurării [μm]
Dimensiuni de gabarit [mm]	Capacitatea [l]	Dimensiuni de gabarit [mm]	Capacitatea [l]			
450 × 900 × 360	135	150 × 150 × 220	5	900 × 900 × 920	3/4"	10—12
900 × 900 × 360	275	150 × 150 × 220	5	900 × 900 × 1 180	1"	10—12
1 350 × 900 × 360	410	185 × 275 × 280	14	1 350 × 900 × 1 300	1½"	10—12
1 800 × 1 350 × 360	825	185 × 275 × 280	2×14	1 800 1 350 × 1 305	2"	10—12

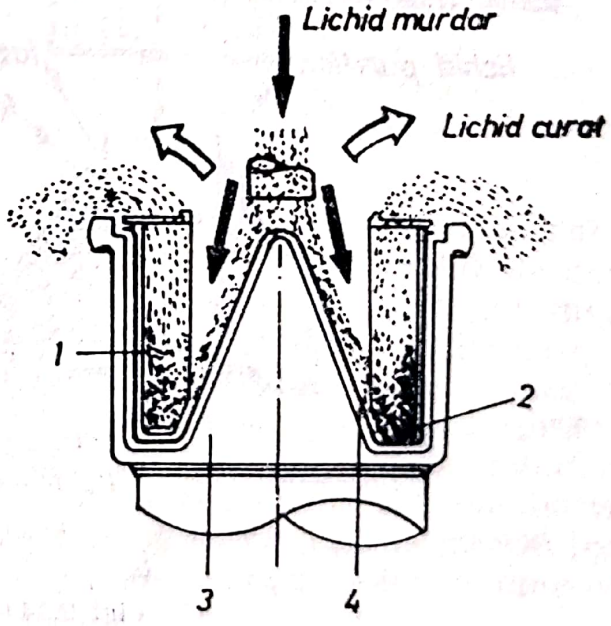
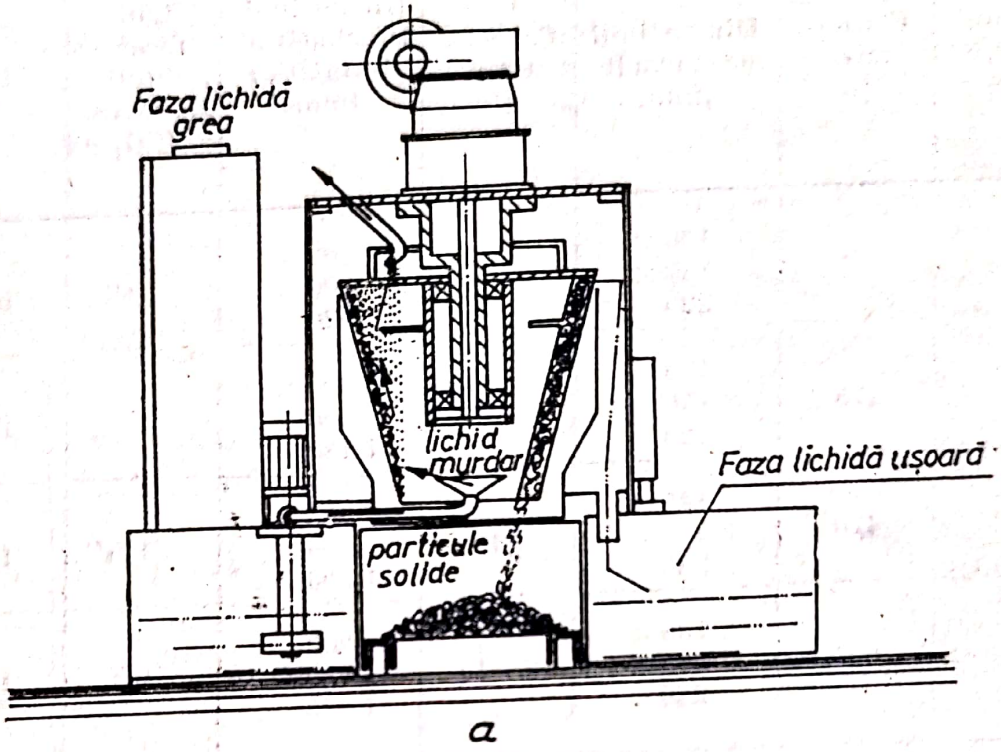


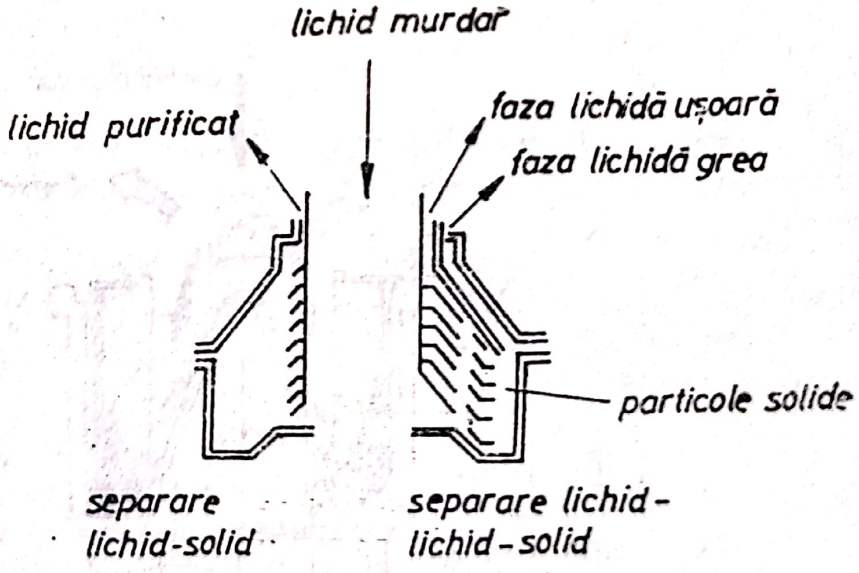
Fig. 9.13. Centrifugă cu descărcare manuală.

Scanned with OKEN Scanner

Centrifuga cu descărcare manuală (fig. 9.13) are în alcătuirea ei un vas de cauciuc *4* suplu, cu mare rezistenţă la abraziune, care este montat într-un rotor *3* deschis la partea superioară. Un ansamblu de palete *1* se montează în interior, îmbunătăţind proprietăţile de separare a fazei solide din faza lichidă. Acest ansamblu se află în



a



b

Fig. 9.14

Scanned with OKEN Scanner

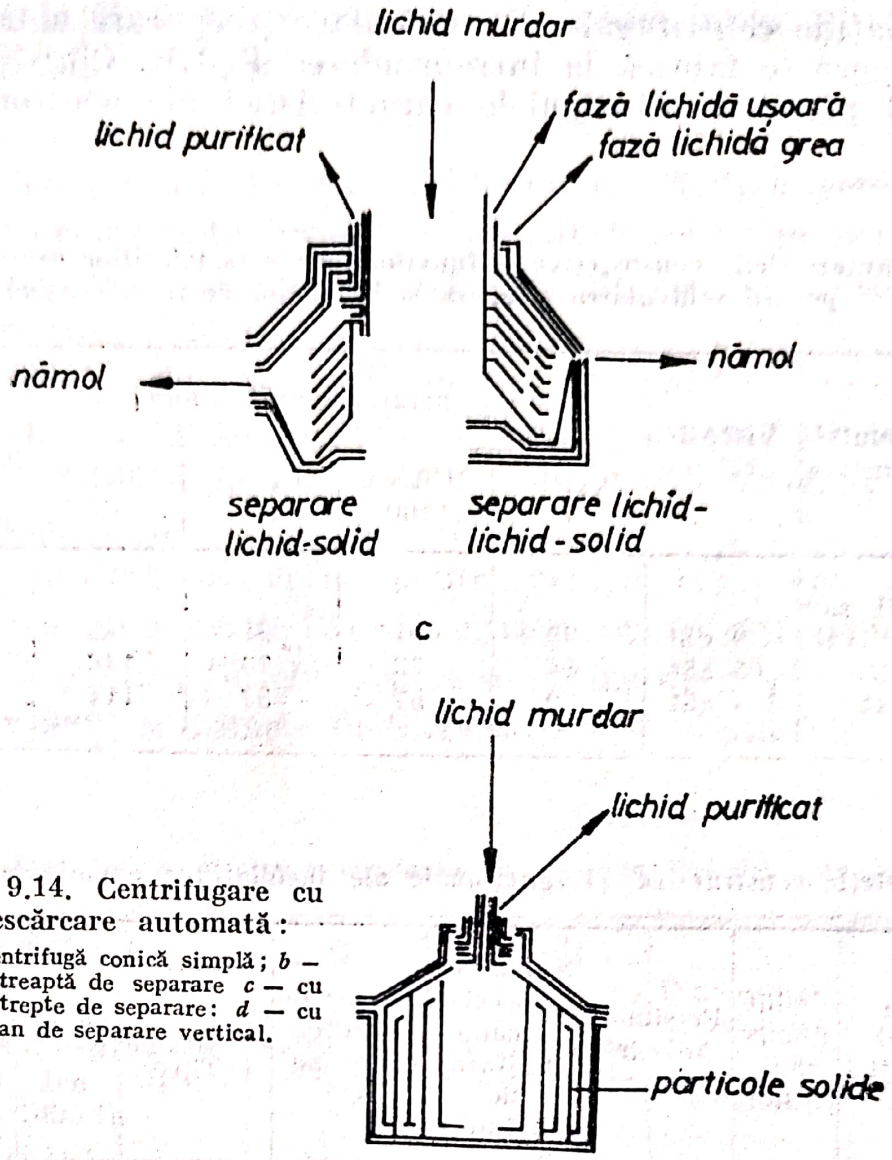


Fig. 9.14. Centrifugare cu descărcare automată:
a — centrifugă conică simplă; *b* — cu o treaptă de separare *c* — cu două trepte de separare: *d* — cu plan de separare vertical.

mișcare de rotație. Lichidul impur pătrunde pe la partea centrală a ansamblului rotitor și este dirijat către fundul vasului de cauciuc. Forța centrifugă care ia naștere acționează asupra lichidului impur și, datorită diferenței de greutate specifică, fixează particulele solide pe pereții vasului, formînd o depunere de forma unei „turte" 2. Lichidul purificat iese pe la partea superioară a rotorului, fiind trimis înapoi spre utilizator sau trecînd într-un rezervor de lichid curat. Puterea de separare este cu atît mai mare, cu cît turația centrifugei este mai mare. Aceasta variază de la 3000 rot/min la 20 000 rot/min sau chiar mai mult. Modul de deplasare a particulelor în cîmp centrifugal este prezentat în paragraful 3.2.3.7. e.

Instalaţiile centrifugale de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire-ungere se fabrică la întreprinderea F.M.R. Cluj-Napoca. Tabelul 9.3 prezintă principalele caracteristici ale acestor instalaţii.

Tabelul 9.3

Caracteristicile constructive şi funcţionale ale instalaţiilor centrifugale pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere

Tipul lichidului de răcire-ungere	Viscozitatea	Debit maxim epurat [l/min]				Fineţea de filtrare [μm]	
		ICENA 5	ICENA 1100	ICENA 20	ICENA 40	ICENA 1100 20 ; 40	ICENA 5
Ulei solubil sau puţin aditivat	9 cSt	23	91	91	182	9	5
Ulei aditivat	65 cSt	14	73	73	146	9	5
Ulei aditivat	154 cSt	9	57	57	114	9	5

Caracteristicile constructive şi funcţionale ale instalaţiilor combinate cu separator

Nr. crt.	Tipul instalaţiei	Debit nominal [l/min]	Presiunea la ieşire [daN/cm²]	Număr de hidrocicloane unitare de 25 l/min	Număr de separatoare magnetice	Electropompa			
						Tip	Debit nominal [l/min]	Presiunea de refulare [daN/cm²]	Puterea motorului electric [kW]
1	CMH 25	25	0,5	1	1	MUR 25	25	3,5	1,1
2	CMH 50	50	0,5	2	2	MUR 50	50	3,5	1,5
3	CMH 100	100	0,5	4	1	MUR 100	100	3,5	2,2
4	CMH160	200	0,5	8	1	MUR 200	200	3,5	3

Scanned with OKEN Scanner

9.8. Instalaţii combinate pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere

Foarte des, pentru epurarea lichidelor de răcire-ungere, se folosesc instalaţii combinate, formate din separatoare magnetice şi hidrocicloane, separatoare magnetice şi benzi filtrante, separatoare magnetice şi centrifuge etc.

Întreprinderea de Accesorii pentru Maşini-Unelte — Blaj fabrică instalaţii combinate cu hidrocicloane şi separatoare magnetice pentru vehicularea şi epurarea *LRU*. Tabelul 9.4 prezintă principalele caracteristici ale acestor instalaţii.

IRU de tip CMH se folosesc pentru vehicularea şi epurarea *LRU* cu viscozitatea mai mică de 12 cSt pentru o concentraţie de impurităţi ce depăşesc 3 g/litru. În felul acesta se obţine un grad de filtrare de aproximativ 98% şi o fineţe de filtrare de 10—12 μm.

Tabelul 9.4

magnetic şi hidrociclon pentru vehicularea şi epurarea lichidelor de răcire-ungere

Rezervor		Separator magnetic		Dimensiunile instalaţiei ($L \times l \times h$) [mm]	Finețea de filtrate [μm]
Dimensiuni ($L \times l \times h$) [mm]	Capacitate [l]	Puterea motorului de acţionare [kW]	Raportul reductorului		
900 × 900 × 376	275	0,37	1 : 400	1060 × 900 × 1050	10—12
900 × 900 × 376	275	0,37	1 : 400	1060 × 900 × 1180	10—12
1350 × 900 × 376	410	1,1	1 : 400	1350 × 1060 × 1300	10—12
1800 × 1350 × 376	825	0,37	1 : 400	1960 × 1350 × 1305	10—12

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 9.15. prezintă o instalaţie combinată, formată dintr-o instalaţie cu bandă filtrantă, căreia ca primă treaptă de filtrare i s-a ataşat un separator magnetic.

În ultima perioadă de timp, o răspîndire tot mai mare o capătă instalaţiile centralizate pentru vehicularea şi epurarea *LRU*. Acestea

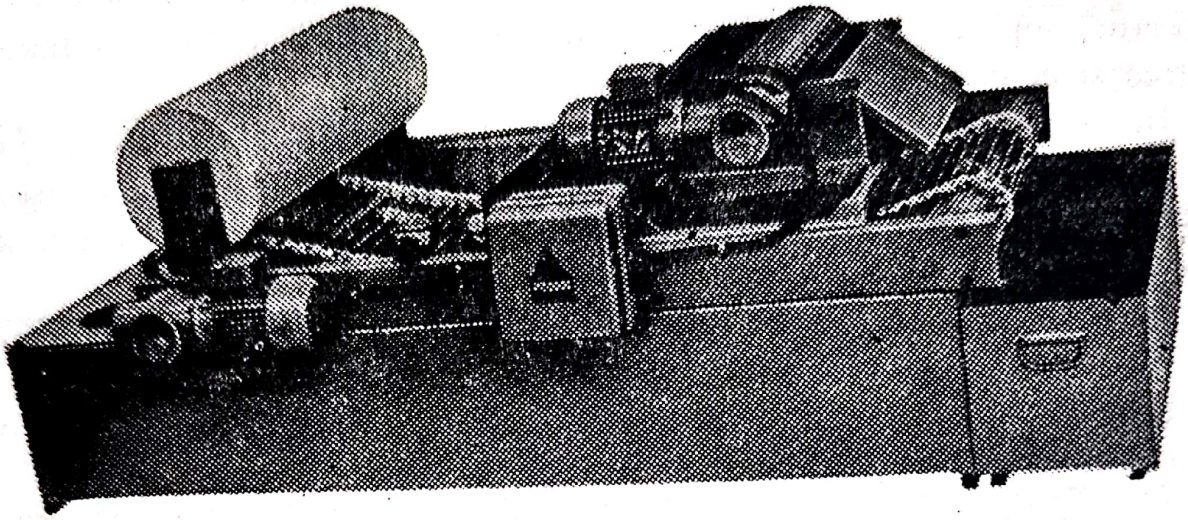


Fig. 9.15. Schema unui IRU cu bandă filtrantă şi separator magnetic.

pot servi cîteva maşini la o întreagă hală cu maşini-unelte. Instalaţiile centralizate au în componenţa lor aceleaşi elemente ca şi cele descrise în paragrafele precedente, însă, întrucît vehiculează debite mult mai mari de ulei, aceste elemente sînt grupate în baterii de separatoare magnetice, hidrocicloane sau centrifuge, legate între ele prin transportoare cu bandă sau cu racleţi. Fig. 9.16 prezintă o instalaţie centralizată ce serveşte cîteva maşini-unelte.

Lichidul murdar de la maşini vine pe jgheaburi înclinate şi cade în rezervorul de lichid murdar *1*, de unde, prin intermediul unui transportor cu melc şi al unui transportor cu racleţi *2*, este trimis în centrifuga de turaţie joasă *3* (2000 — 3000 rot/min) cu descărcare automată. Impurităţile uscate sînt descărcate pe transportorul *4*, care le depune într-un cărucior ce este golit din timp în timp. Lichidul filtrat prin această primă treaptă este transferat într-un rezervor intermediar *5* şi într-un bazin de decantare *6*, de unde, cu electropompa de tip centrifugal *7*, este trimis în bateria de hidrocicloane *8*. De aici, *LRU* curat poate fi trimis direct la maşini sau poate trece într-un rezervor tampon *9*, de unde, în funcţie de necesităţi, este trimis a maşini.

Scanned with OKEN Scanner

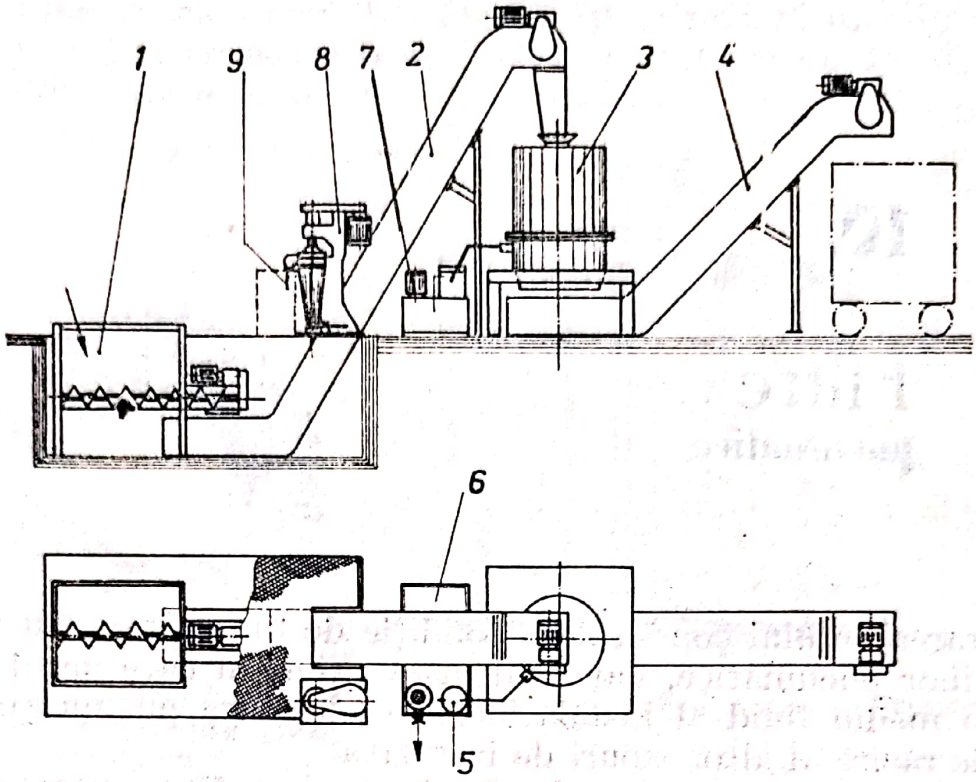


Fig. 9.16. Schema unei IRU centralizate.

În funcție de cantitatea și natura impurităților, instalațiile combinate și cele centralizate pentru vehicularea și epurarea *LRU* pot avea alcătuiri diverse.

Scanned with OKEN Scanner

10.

Filtre
pneumatice

Filtrarea aerului constituie o condiţie de funcţionare nu numai a instalaţiilor pneumatice, dar şi al instalaţiilor în care aerul nu este doar un mediu fluid al instalaţiilor de acţionare pneumatice, ci şi agent de răcire al altor tipuri de instalaţii.

Filtrele pneumatice pot fi clasificate în: filtre uscate; filtre umede; separatoare [74].

10.1 Filtre uscate

Aceste filtre sînt alcătuite din medii filtrante identice cu cele descrise în capitolul 7. Filtrarea poate fi deci: în adîncime şi la suprafaţă.

În general, aceste filtre sînt alcătuite din hîrtie filtrantă pliată (fig. 10.1). Uneori, această hîrtie poate avea un suport alcătuit dintr-o sită metalică şi o manta de protecţie, alcătuită tot din sită metalică sau hîrtie perforată (fig. 10.1).

Traseul parcurs de aer este întotdeauna din exteriorul filtrului spre interior, astfel că particulele de impurifient se depun pe suprafaţa exterioară a hîrtiei filtrante. Căderea de presiune pe acest tip de filtre este foarte mică (0,1 — 0,2 kgf/cm^2). Acest tip de filtre poate fi executat şi din împletituri textile pliate. Presiunea maximă de lucru este de 7 kgf/cm^2.

Filtrele pneumatice uscate pot fi cu element interschimbabil sau cu element filtrant, ce poate fi curăţat manual sau automat cu jet

Scanned with OKEN Scanner

de aer suflat în contracurent. Figura 10.2 prezintă un filtru de aer al firmei Vokes, ce poate fi curăţat prin suflarea cu aer în contracurent prin intermediul unei pale rotitoare.

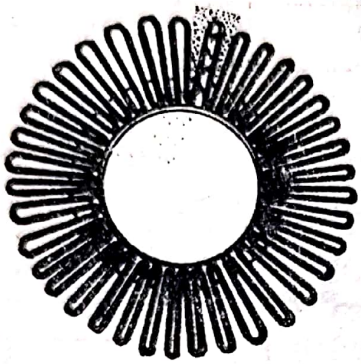


Fig. 10.1 Modul de pliere a hîrtiei la un filtru pneumatic „uscat".

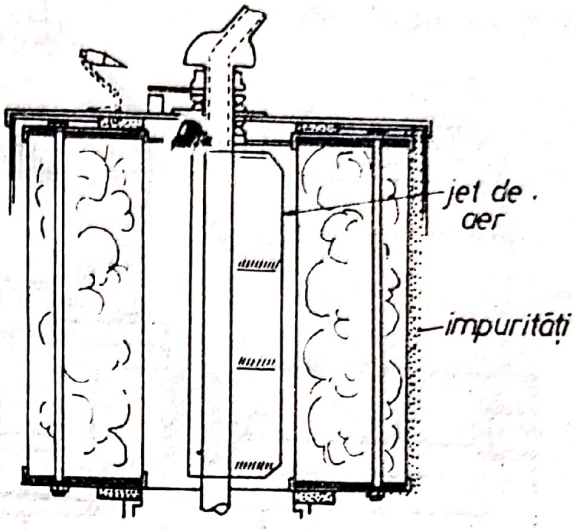


Fig. 10.2. Filtru de aer al firmei Vokes.

Numeroase firme (Norgreen, Aevox Ltd., Racine, Festo etc.) fabrică filtre pneumatice uscate, al căror element filtrant este fabricat din granule (bronz, inox, ceramică etc.) sinterizate.

Pentru a nu se deteriora elementul filtrant, în cazul în care în acesta intră un jet de aer la presiune mai mare de 3 kgf/cm², se folosesc elemente de „liniştire" (fig. 10.3).

Întrucît, în general, aerul industrial conţine apă, majoritatea filtrelor de aer pentru instalaţiile pneumatice sînt echipate cu pahar decantor transparent, cu posibilitatea de eliminare a apei.

Pentru protejarea elementelor instalaţiei pneumatice, alături de filtrele pneumatice, se montează ungătoare ce permit îmbogăţirea aerului industrial cu aerosoli de ulei.

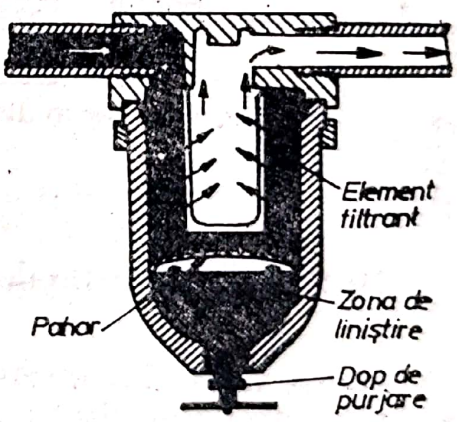
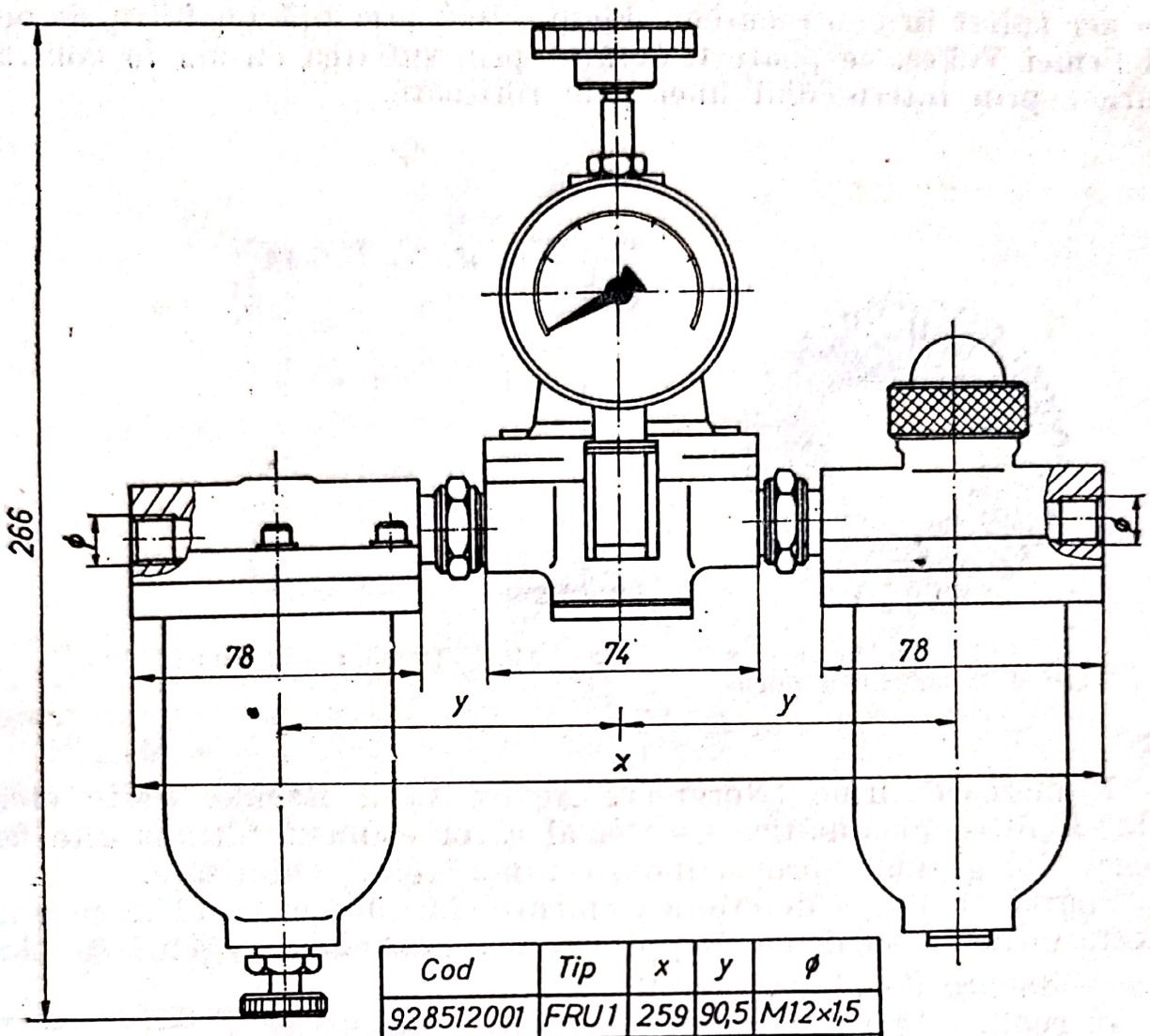


Fig. 10.3. Filtru cu zonă „de liniştire".

Asociate cu un regulator, filtrul şi ungătorul formează împreună un grup de pregătire a aerului, pentru utilizarea sa în instalaţiile pneumatice de comandă şi acţionare. La IEM-Bistriţa se fabrică grupuri de pregătirea aerului industrial, de tip FRU.

Scanned with OKEN Scanner



Cod	Tip	x	y	ϕ
928512001	FRU1	259	90,5	M12×1,5
928512002	FRU2	265	93,5	M16×1,5

Fig. 10.4. Grup IRU pentru pregătirea aerului industrial.

10.2. Filtre umede

Aceste filtre sînt bazate pe o structură de sită sau celulară cu pori relativ mari „umeziți" cu ulei. Aplicarea uleiului se poate face manual sau automat. Efectul de filtrare se produce, atît prin reținerea contaminanților datorită dimensiunii porilor, cît și prin aderența lor la particulele de ulei.

Avantajele acestor filtre constau în prețul lor scăzut, cît și în căderea de presiune mică la trecerea aerului prin ele.

Scanned with OKEN Scanner

Mediul filtrant poate fi alcătuit din hîrtie filtrantă, împletituri textile sau materiale plastice pluricelulare.

O altă variantă de filtru pneumatic „umed" este aceea în care aerul impur trece printr-o baie de ulei înainte de elementul filtrant propriu-zis (fig. 10.5). La trecerea prin ulei, este reţinută o mare cantitate de impurifianţi. La ieşirea din baia de ulei, se formează o ceaţă ce transformă elementul filtrant de tip uscat într-un filtru umed. Aici se reţin şi celelalte particule de impurifiant. Odată cu curăţirea în contracurent a elementului filtrant, se schimbă şi uleiul din baie.

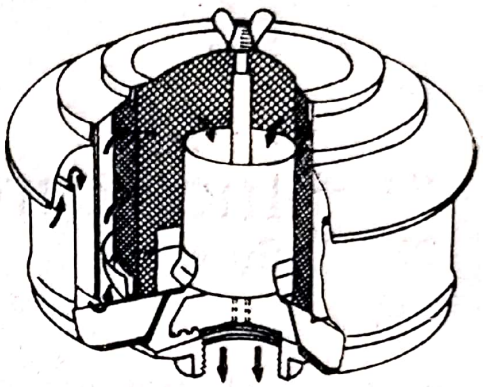


Fig. 10.5. Filtru „umed" cu baie de ulei.

Aerul purificat cu ajutorul filtrelor umede, întrucît conţine aerosoli de ulei, nu mai trebuie trecut printr-un grup de pregătire de tip FRU.

Pentru a îmbina avantajele celor două tipuri de filtre, există elemente filtrante alcătuite din straturi succesive, la care sitele metalice foarte fine, deci filtre „uscate", alternează cu împletiturile celulozice „umede".

10.3. Separatoare pneumatice

Separatoarele pneumatice lucrează pe principiul separării inerţiale a particulelor solide şi lichide. Acestea se folosesc, de obicei, ca primă treaptă de filtrare pentru reţinerea particulelor mari. Un astfel de separator este şi baia de ulei. Alte separatoare sînt cele de tip hidrociclon sau centrifugale, destul de puţin folosite însă pentru filtrarea aerului folosit pentru acţionările pneumatice.

Scanned with OKEN Scanner

11.

Încercarea filtrelor

Încercările filtrelor conţin totalitatea probelor care se fac asupra elementului filtrant, a carcasei filtrului şi asupra întregului filtru. Pentru a se asigura o metodologie corectă de experimentare, aceste probe au fost precizate prin norme internaţionale şi standarde de stat.

11.1. Determinarea integrităţii structurale de fabricaţie a filtrului

Această probă urmăreşte depistarea defectelor de fabricaţie sau a avariilor posibile în timpul transportului care ar putea periclita capacitatea elementului de filtrare de a-şi îndeplini funcţia. Prin acest test sînt depistate defecţiuni de etanşare a mediului filtrant cu elementele de legătură, cu restul instalaţiei, ca şi deteriorarea mediului filtrant însuşi.

Elementul filtrant este cufundat într-un vas cu alcool izopropilic. Elementul filtrant trebuie să fie aşezat paralel cu suprafaţa lichidului, la o adîncime de 12,5 mm. Înainte de începerea probei propriu-zise, se menţine elementul filtrant timp de minimum 5 minute în lichid. Se introduce aer sub presiune în interiorul elementului filtrant. Se notează cea mai mică presiune la care apare un şir persistent de bule. Această valoare trebuie să fie în domeniul la care fabricantul elementului filtrant prescrie apariţia primelor bule („bubble point"). La un element filtrant de bună calitate, bulele trebuie să apară simultan

Scanned with OKEN Scanner

în mai multe locuri, să rămînă o perioadă ataşate la întreaga suprafaţă a filtrului, iar detaşarea lor să se facă simultan. În general, valori ale presiunii de apariţie a primelor bule, sub 50 — 100 mm coloană de apă, creează suspiciuni asupra calităţii filtrului.

Presiunea de apariţie a primelor bule se poate determina şi prin calcul, considerînd porul ca un capilar (legea lui Poiseuille) :

$$P = \frac{K\ 4\gamma\cos\theta}{d}, \qquad (11.1)$$

în care : P este presiunea de apariţie a primelor bule ; γ — tensiunea superficală la suprafaţa de separaţie între mediul hidraulic şi mediul filtrant ; θ — unghiul de ieşire al porului (capilarului) din mediul filtrant în mediul hidraulic ; d — diametrul maxim al porului ; K — factorul de corecţie a formei.

În fig. 11.2 este reprezentată schema standului de efectuare a acestei probe.

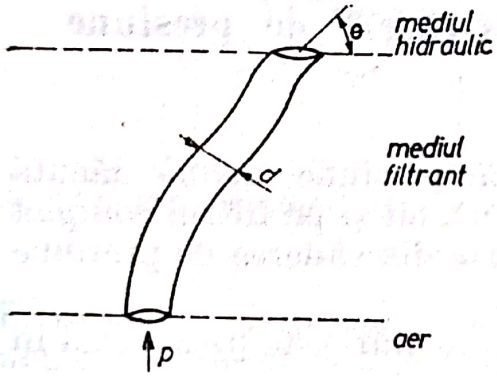


Fig. 11.1. Reprezentarea simplificată a unui por dintr-un mediu filtrant.

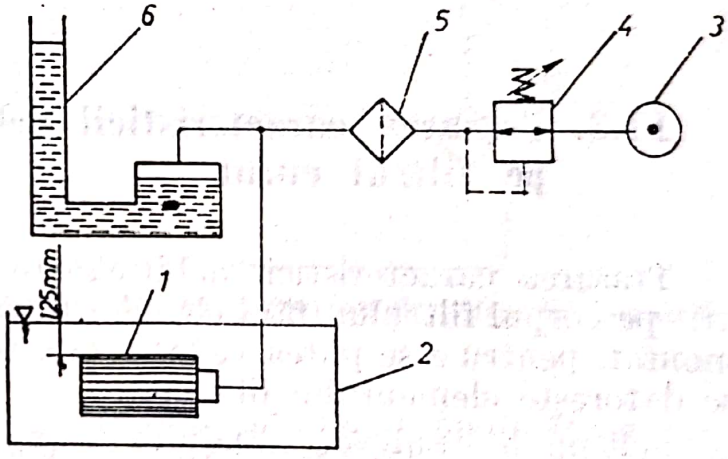


Fig. 11.2. Schema hidraulică a standului pentru determinarea integrităţii structurale de fabricaţie a filtrului.

Filtrul testat *1* se găseşte în baia cu alcool izopropilic *2*. Aerul de la sursa de aer *3* este trimis, prin regulatorul *4* şi filtrul *5*, către filtrul testat. Presiunea la care apar primele bule persistente („bubble point") se citeşte cu ajutorul manometrului *6*.

Se recomandă ca determinarea pe această cale a integrităţii structurale de fabricaţie să se facă numai pentru elementele filtrante ce asigură o fineţe de filtrare mai mică sau egală cu 25 μm. Pentru celelalte elemente filtrante, determinarea integrităţii de fabricaţie se face vizual. În cazul în care elementul filtrant nu a corespuns la această probă, el nu se supune şi la celelalte încercări.

Scanned with OKEN Scanner

11.2. Verificarea compatibilităţii materialului cu fluidul de lucru

Această probă urmăreşte să constate modul în care elementul filtrant îşi păstrează caracteristicile şi după ce-a fost imersat o perioadă în mediul hidraulic în care va lucra.

Elementul filtrant este imersat timp de 72 de ore în mediul hidraulic în care va lucra. Temperatura băii de imersie trebuie să fie cu 15°C mai mare decît temperatura maximă de funcţionare recomandată de către fabricant pentru mediul hidraulic.

Mediul hidraulic în care se menţine elementul filtrant trebuie să fie filtrat, pentru a nu impurifica filtrul. După menţinerea timp de 72 de ore la această temperatură, elementul filtrant nu trebuie să prezinte defecte vizibile cu ochiul liber. Această probă este nedistructivă.

11.3. Trasarea caracteristicii debit-cădere de presiune pe filtrul curat

Trasarea caracteristicii debit-cădere de presiune trebuie făcută atît pe corpul filtrului (fără element filtrant), cît şi pe filtrul complet montat, pentru a se putea vedea a cîta parte din căderea de presiune se datoreşte elementului filtrant.

Schema hidraulică a standului de experimentări este prezentată în fig. 11.3.

Pompa 2 aspiră uleiul curat din rezervorul *1*. Presiunea de refulare, reglată cu supapa *3*, trebuie să menţină manometrul *9* la o valoare pozitivă. Deci, standul nu trebuie să funcţioneze la valori mari ale presiunii de lucru. Debitul refulat se reglează cu ajutorul droselelor *4*. Temperatura mediului hidraulic se măsoară cu ajutorul termometrului *6* şi se menţine constantă cu ajutorul schimbătorului de căldură *13*. În felul acesta, pe timpul experimentărilor, vîscozitatea mediului hidraulic se menţine constantă. Mediul hidraulic şi temperatura de efectuare a experimentării se aleg funcţie de indicaţiile producătorului filtrului hidraulic. Filtrul *5* trebuie să aibă o fineţe de filtrare mai mică sau cel mult egală cu cea a filtrului testat. Manometrele *8* şi *9* măsoară presiunea înainte şi după filtrul testat. Se poate folosi şi un manometru diferenţial *10* pus în funcţiune cu aju-

Scanned with OKEN Scanner

torul robinetelor *11*. Cu ajutorul debitmetrului *12*, se măsoară debitul pentru fiecare valoare a căderii de presiune.

Se măsoară debitul pentru valori ale căderii de presiune egale cu 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1 ; 1,2 din căderea de presiune maximă admisă pe

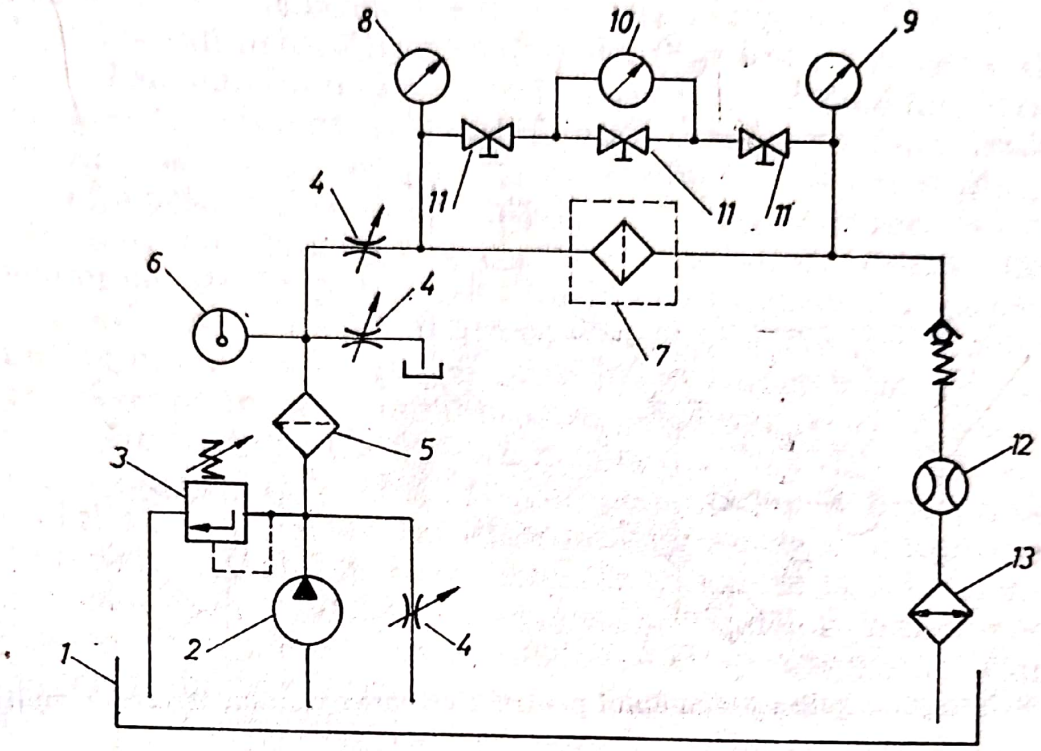


Fig. 11.3. Schema hidraulică a standului pentru obținerea caracteristicii debit-cădere de presiune.

filtrul testat *7*. Aceste puncte, fiind determinate, se poate trasa caracteristica debit-cădere de presiune, atît pentru filtrul complet, cît și pentru filtrul neechipat (fără elementul filtrant). Această probă este nedistructivă.

11.4. Testul trecerilor multiple

Testul trecerilor multiple (*m*ulti-pass *f*ilter *t*est) [29], a cărui introducere în standardele internaționale este de dată relativ recentă, permite determinarea capacității filtrului de a reține particulele mai mari decît o anumită valoare prestabilită a fineței de filtrare. Standul de încercări pentru acest test este prezentat în fig. 11.4. Standul cu-

Scanned with OKEN Scanner

prinde două grupuri principale de pompare : primul ce permite injectarea impurifiantului și cel de-al doilea, care permite recircularea fluidului de lucru. Filtrul testat *7* este montat într-o instalație ce funcționează în circuit închis. Contaminantul este injectat, cu aju-

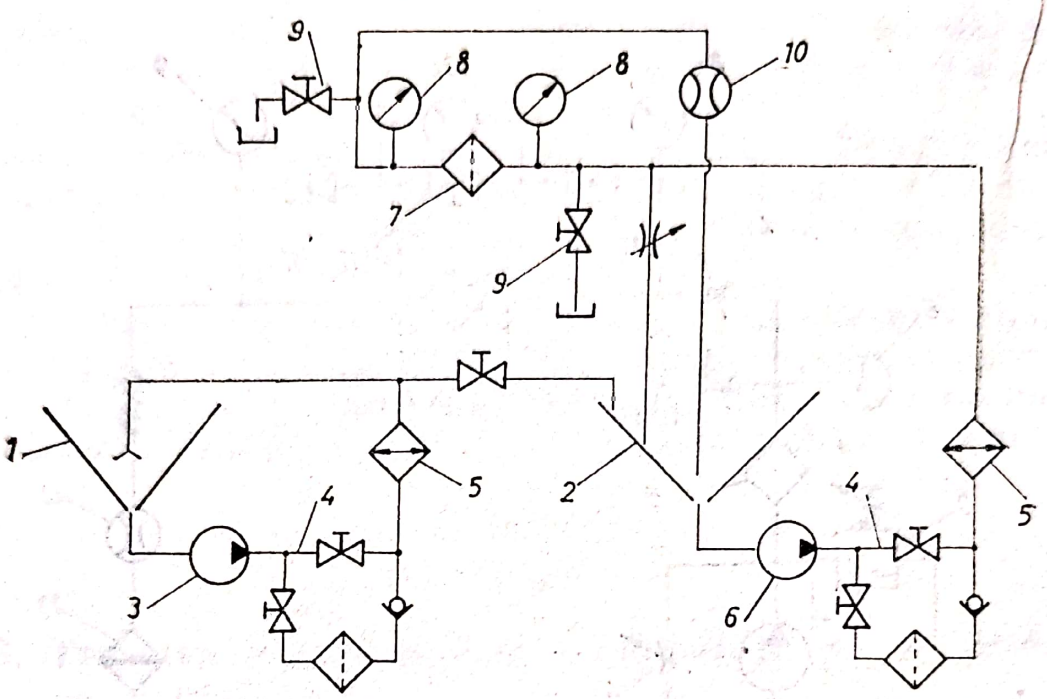


Fig. 11.4. Schema hidraulică a standului pentru efectuarea testului trecerilor multiple.

torul pompei *3* ce aspiră din rezervorul *1*, de formă conică, cu unghiul de vîrf mai mic de 90°. Această formă preîntîmpină depozitarea contaminantului și reduce posibilitatea de aspirare a aerului. De aceeași formă este și rezervorul *2* cu mediul hidraulic ce este recirculat. Pompele hidraulice *3* și *6* sînt insensibile la contaminanți de tipul celui folosit pentru acest test. Aceste pompe, mai ales pompa *6*, trebuie să aibă pulsații de debit și presiune cît mai mici, deoarece acestea pot altera fidelitatea experimentărilor. Atît circuitul de injectare cu contaminant, cît și circuitul principal, sînt dotate cu cîte un circuit propriu de filtrare *4*, ce asigură o filtrare inițială a mediului hidraulic cu mai puțin de 15 particule mai mari de 10 μm pe milimetru. Răcitoarele *5* asigură funcționarea la temperatură constantă, deci viscozitate constantă. Cele două prize de presiune *8*, montate înainte și după filtrul testat *7*, permit măsurarea căderii de presiune pe filtru. Cu ajutorul prizelor de eșantionare *9*, se pot preleva eșantioane înainte și după filtrul testat. Debitmetrul *10* permite măsurarea debitului de fluid ce trece prin filtru. Circuitele, fitingurile și întregul

Scanned with OKEN Scanner

traseu hidraulic trebuie să fie astfel realizat încît să împiedice aglomerările de impurificat.

Prelevarea eşantioanelor se va face prin metodologia descrisă în cadrul capitolului 4.

Pompa *6* a sistemului de recirculare trebuie să permită reglajul debitului (prin reglarea turaţiei). Încercarea se face la un debit egal cu 1/4 din debitul nominal al filtrului testat. Nivelul de contaminare al sistemului de recirculare trebuie să fie de 5 mg/litru. Pentru numărătorul automat de particule, cu care se va face analiza eşantioanelor prelevate, trebuie ales un traductor, al cărui prag de saturaţie să fie peste valoarea de 5 mg/litru. Sistemul de recirculare asigură o fidelitate corespunzătoare a experimentărilor, atunci cînd eşantioanele prelevate timp de o oră (din 15 în 15 minute) arată că în sistem numărul de particule de 10 μm este cuprins între 600 şi 900 particule pe mililitru, iar cele de 20 μm între 100 şi 150 pe mililitru. După efectuarea acestor încercări preliminare, sistemul poate fi folosit pentru experimentarea filtrelor. Pentru încercări, ISO 4572—1981 recomandă folosirea de particule ACFTD (componenţa lor a fost prezentată în capitolul 4). În lipsa lor, rezultate mulţumitoare se pot obţine folosind praf abraziv şi aşchii de la maşinile de rectificat fără platou magnetic şi fără sisteme de vehiculare şi epurare a lichidelor de răcire ce folosesc mijloacce de reţinere a particulelor în cîmp magnetic. Considerînd un nivel de impurificare de 10 mg/litru, se poate calcula timpul de efectuare a încercărilor cu formula :

$$\tau = \frac{\text{(capacitatea aparentă a elementului filtrant) mg}}{\text{10 mg/litru} \cdot \text{(debitul de încercare) l/min}} \text{ [min].} \quad (11.2)$$

Volumul minimal necesar sistemului de injectare (σ litri), la un debit de injectare de 0,5 l/min, se poate calcula cu formula :

$$\sigma = 1,2 \cdot \tau \text{ [l/min].} \quad (11.3)$$

Cu ajutorul ecuaţiei (11.3), se poate calcula nivelul gravimetric de impurificare al fluidului injectat :

$$y = \frac{\text{10 mg/litru} \cdot \text{(debitul de încercare) l/min}}{\text{(debitul injectat) l/min}} \text{ [mg/litru].} \quad (11.4)$$

În felul acesta, cu ajutorul ecuaţiei (11.4), se va putea calcula cantitatea necesară de contaminant :

$$\omega = \frac{y \cdot \text{mg/litru} \cdot \sigma \text{ litri}}{1000} \text{ [g].} \quad (11.5)$$

Scanned with OKEN Scanner

În felul acesta, sistemul de injectare cu contaminant poate fi pregătit pentru probe.

Circuitul de recirculare se verifică după instalarea filtrului, care va fi testat, măsurîndu-se în acelaşi timp şi căderea de presiune pe filtrul curat. Sistemul asigură o fidelitate corespunzătoare din punct de vedere al fineţei de filtrare, atunci cînd, prelevînd trei eşantioane înainte de filtrul testat, media aritmetică a măsurătorilor indică maximum 15 particule mai mari de 10 μm pe mililitru. În acest fel, întregul sistem este pregătit pentru testul trecerilor multiple.

Sînt prelevate cîte trei eşantioane înainte şi după filtrul testat, astfel : primul eşantion, după două minute, iar celelalte la valori de 10%, 20%, 40% şi 80% din căderea de presiune admisă pe filtru. În acelaşi timp, se notează şi timpul după care căderea de presiune pe filtrul testat a atins aceste valori. Sînt prelevate cîte trei eşantioane pentru a se face media aritmetică a măsurătorilor. Cu ajutorul unui numărător automat de particule, se înregistrează numărul de particule mai mari de 10, 20, 30 şi 40 μm pe mililitru. În felul acesta, se obţin datele necesare completării fişei de încercări pentru testul trecerilor multiple.

În felul acesta se poate determina raportul β, ce reflectă capacitatea filtrului de a reţine particule mai mari de o anumită valoare (11.6)

$$\beta = \frac{\text{numărul de particule mai mari de o anumită valoare înainte de filtru}}{\text{numărul de particule mai mari de o anumită valoare după filtru}} \qquad (11.6)$$

De exemplu : dacă pentru un filtru $\beta_{10} = 2$, înseamnă că filtrul reţine jumătate din particulele mai mari de 10 μm. Dacă $\beta_5 = 1$, înseamnă că filtrul nu reţine particule mai mari de 5 μm.

În general, acest test se aplică la filtrele cu o fineţe de filtrare mai mică de 25 μm. Raportul β_{10} apare acum în majoritatea fişelor tehnice ale firmelor ce fabrică filtre hidraulice. Pentru fineţe de filtrare mai mică de 10 μm, s-a introdus raportul β_5 şi chiar β_1.

Precizia măsurătorilor creşte atunci cînd, în locul dispozitivelor de prelevare a eşantioanelor, se foloseşte măsurătoarea fineţei de filtrare direct pe conductă („in line"). Testul trecerilor multiple este o probă distructivă, filtrul testat este contaminat şi nu mai poate fi folosit.

Scanned with OKEN Scanner

11.5. Determinarea gradului și a fineței de filtrare

Pentru determinarea gradului și a fineței de filtrare, se folosește standul, a cărui schemă hidraulică este prezentată în fig. 11.5.

În recipientul *1* se introduce ulei și o cantitate cunoscută, atît ca greutate, cît și ca distribuție granulometrică de contaminant. Uni-

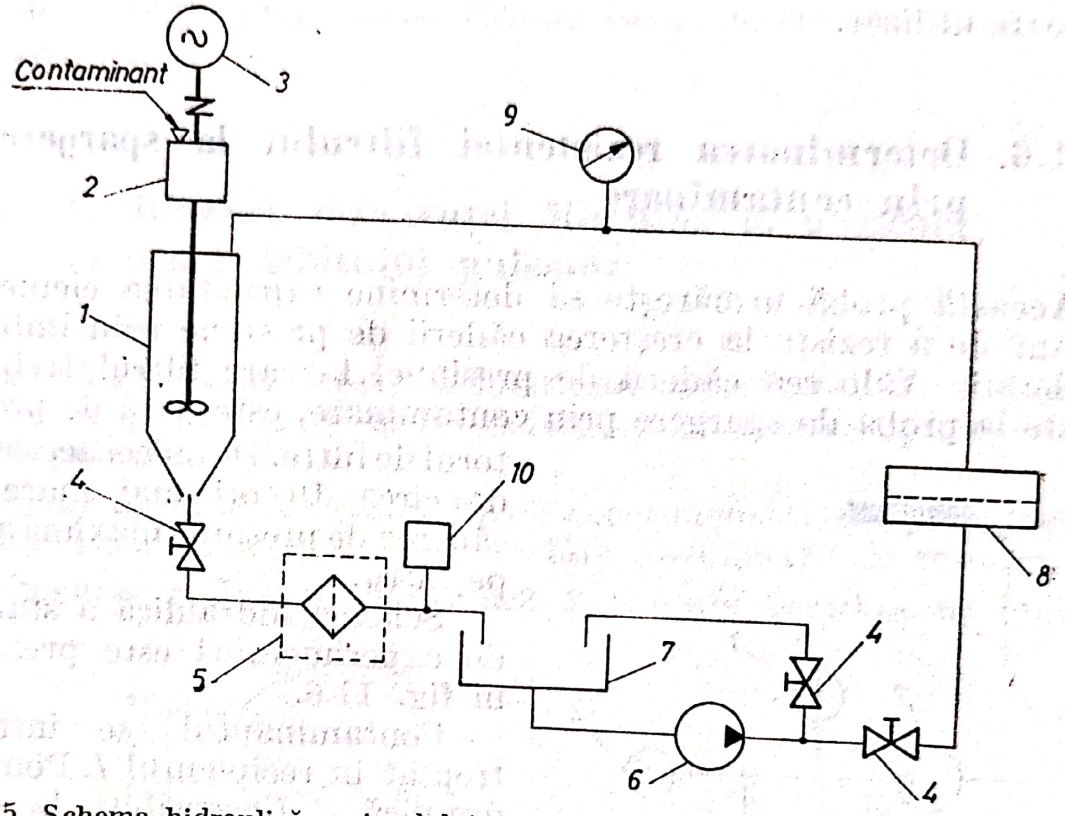


Fig. 11.5. Schema hidraulică a standului pentru determinarea gradului și a fineței de filtrare.

formizarea răspîndirii acestuia în ulei se face cu ajutorul dispozitivului *2* antrenat de motorul electric *3*. Pompa *6* aspiră ulei curat din rezervorul suplimentar *7* și îl trimite, prin membrana filtrantă *8* cu finețea de filtrare de 0,5 μm, spre rezervorul presurizat *1*, la presiunea citită pe manometrul *9*. Uleiul, împreună cu contaminantul, trec prin intermediul robinetului *4* prin filtrul testat *5*.

Prin intermediul dispozitivului de prelevare a eșantioanelor *10*, se pot preleva eșantioane ce vor fi analizate cu ajutorul numărătorului automat de particule. Pe baza distribuției granulometrice obținute, se poate vedea în ce clasă de precizie poate fi introdus filtrul.

Scanned with OKEN Scanner

Membrana filtrantă de 0,5 μm permite măsurarea gravimetrică a gradului de filtrare :

$$\delta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100 \quad [\%], \tag{11.7}$$

unde : G_1 este greutatea impurifiantului introdus ; G_2 — greutatea impurifiantului după filtrul testat (depus pe membrana filtrantă *8*). Proba este distructivă, filtrul testat este contaminat şi acesta nu mai poate fi utilizat.

11.6. Determinarea rezistenţei filtrului la spargere prin contaminare

Această probă urmăreşte să determine capacitatea elementului filtrant de a rezista la creşterea căderii de presiune prin îmbîcsirea accelerată. Valoarea căderii de presiune, la care filtrul trebuie să reziste la proba de spargere prin contaminare, este dată de producătorul de filtre. De obicei aceasta este de circa 10 ori mai mare decît căderea de presiune maximă admisă pe filtru.

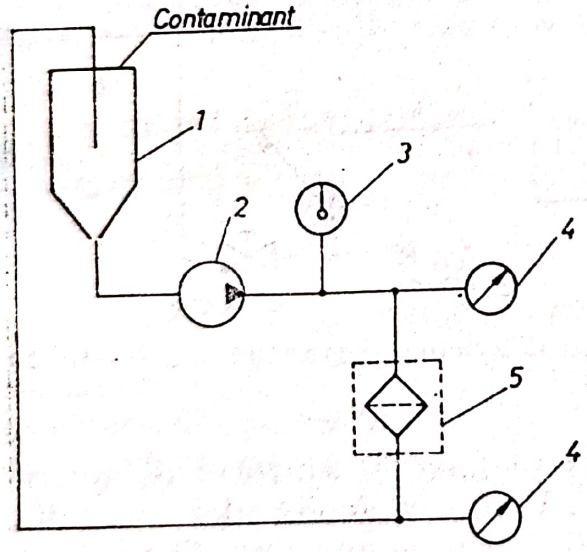


Fig. 11.6. Schema hidraulică a standului pentru determinarea rezistenţei filtrului la spargere prin contaminare.

Schema hidraulică a standului de experimentări este prezentată în fig. 11.6.

Contaminantul se introduce treptat în recipientul *1*. Pompa hidraulică *2* (insensibilă la contaminant) trimite mediul hidraulic puternic impurificat prin filtrul testat *5*. Căderea de presiune pe filtru se măsoară cu ajutorul manometrelor *4*. Temperatura la care se face proba este de 15 . . . 45°C. Aceasta se citeşte cu ajutorul termometrului *3*. După atingerea căderii de presiune maxime admise, recomandată de producătorul filtrului, se analizează integritatea filtrului testat. Dacă se consideră necesar, se poate trasa şi caracteristica : cantitatea contaminantului funcţie de căderea de presiune pe filtru. Proba este distructivă, filtrul testat nu mai poate fi utilizat.

Scanned with OKEN Scanner

11.7. Determinarea rezistenței la deformarea axială

Pentru efectuarea acestei probe, elementul filtrant este supus la o forță axială aplicată la capetele sale și egală cu cea indicată de fabricant. După menținerea timp de 5 minute la această forță, elementul filtrant nu trebuie să prezinte deformații remanente vizibile sau defecte de etanșeitate.

Proba este nedistructivă, filtrele care au corespuns putînd fi utilizate.

11.8. Verificarea rezistenței filtrului la oboseală datorată debitului pulsator

Această probă urmărește să determine capacitatea filtrului de a-și menține proprietățile în urma deformațiilor elastice provocate de debitul pulsator.

Schema hidraulică a standului de experimentări este prezentată în fig. 11.7. Încercarea se face cu sau fără introducere de contaminant în recipientul *1*. Pompa hidraulică *2*, a cărei presiune se reglează

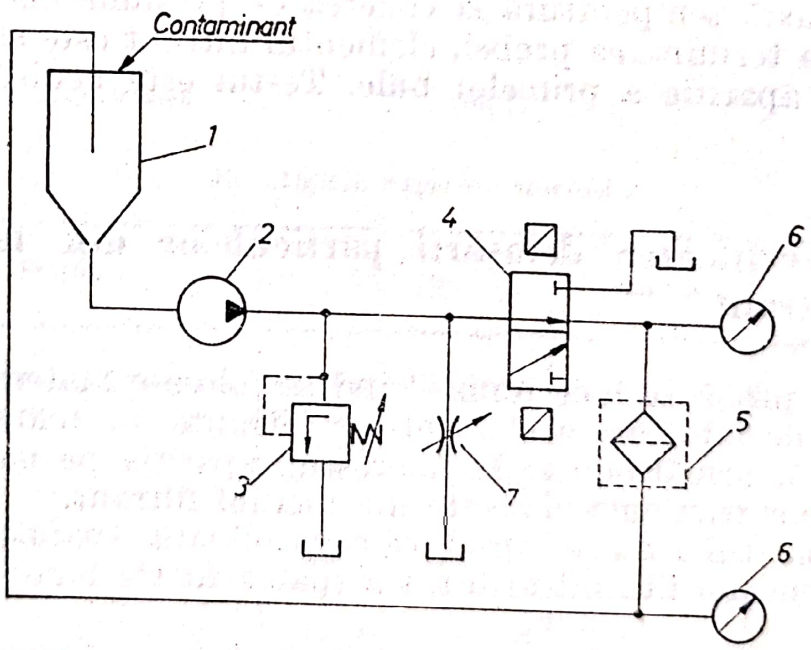


Fig. 11.7. Schema hidraulică a standului pentru verificarea rezistenței filtrului la oboseală datorată debitului pulsator.

Scanned with OKEN Scanner

cu supapa *3*, trimite ulei în filtrul testat *5*. Căderea de presiune pe filtru se poate citi pe manometrele *6*. Cu ajutorul distribuitorului *4*, se realizează un debit pulsator, de la 0 la valoarea nominală admisă pe filtru (reglată cu droselul *7*). Frecvenţa ciclurilor este de 1 Hz. În cazul în care proba se face cu ulei curat, în locul distribuitorului se poate folosi un distribuitor proporţional sau o servovalvă. Standul este prevăzut cu un numărător de cicluri. După terminarea acestei probe, filtrul este supus din nou la testul de apariţie a primelor bule.

În general, pentru filtrele care nu lucrează în ciclu pulsator, se recomandă ca acest test să se facă pînă la 10 000 de cicluri. Pentru filtrele destinate a lucra în ciclu pulsator, proba se face chiar pînă la 1 250 000 de cicluri. Testul este distructiv, filtrul nemaiputînd fi utilizat.

11.9. Verificarea rezistenţei filtrului la pornirea la rece

Această probă se face numai pentru filtrele destinate a lucra în medii cu temperaturi scăzute (sub 0°C). Proba se face pe standul din fig. 11,7, care este pus în funcţie într-o cameră climatică cu temperatura minimă, la care trebuie să lucreze filtrul. Se fac cîteva cicluri la această temperatură la căderea de presiune maximă admisă pe filtru. La terminarea probei, elementul filtrant este supus din nou testului de apariţie a primelor bule. Testul este nedistructiv.

11.10. Verificarea detaşării particulelor din mediul filtrant

Această probă se face numai cînd se folosesc materiale sau tehnologii noi de fabricare a elementelor filtrante. Se foloseşte standul din fig. 11.5, urmărindu-se la microscop apariţia pe membrana filtrantă a unor particule detaşate din mediul filtrant.

În recipientul *1* nu se introduce contaminant. Înainte de introducerea elementului filtrant testat, s-a spălat foarte bine întreaga instalaţie.

Buletinul de încercări prezentat în continuare sintetizează toate probele descrise în capitolul 11.

Scanned with OKEN Scanner

BULETIN DE ÎNCERCĂRI

Nr. ... din ...

Produsul : . . . . . .

Seria . . . . . **.Nr :** ..... **Anul fabricaţiei** .....

Intreprinderea producătoare . . . . . .

Stadiul asimilării : (model experimental, prototip, serie zero, serie)

Caracteristicile mediului hidraulic :

= tip : . . . . . .
= viscozitatea la 40°C : . . . . . cSt
= temperatura la care s-a făcut încercarea : . . . . . °C
= viscozitatea la temperatura de încercare : . . . . . cSt

Caracteristicile mediului ambiant :

= temperatură : . . . . . °C
= umiditate : . . . . . .%
= presiune atmosferică : . . . . . mm Hg

Rezultatele experimentărilor :

Nr. crt.	Proba	Prescris	Constatat	Obs.
1	Verificarea componenţei produsului	Conform Caietului de sarcini (C. S) sau Standardului de Ramură (S. R.)		
2	Verificarea aspectului exterior	Conform C. S. sau S.R.		
3	Verificarea dimensiunilor de gabarit şi de legătură	Conf. C.S. sau.S.R.		

Scanned with OKEN Scanner

Nr. crt.	Proba	Prescris	Constatat	Obs.
4	Verificarea dimensiunilor principalelor piese	Conform documentaţiei		
5	Verificarea acoperirilor de protecţie	Conform C. S. sau S.R.		
6	Verificarea calităţii materialului principalelor piese	Conform C. S. sau S.R.		
7	Determinarea integrităţii structurale de fabricaţie a filtrului	. . . . . mm col H_2O	. . . . . mm col H_2O	
8	Verificarea compatibilităţii materialului cu fluidul de lucru	Conform C. S. sau S.R.		
9	Trasarea caracteristicii debit-cădere de presiune	max . . . bar la Q= . . . l/min	. . . . . bar la Q = l/min (conf. fig. . .)	
10	Testul trecerilor multiple (K = . . .)	K = . . .	K = . . .	
11	Determinarea gradului şi a fineţii de filtrare	. . . % . . .(nr. de particule . . . μm) p = bar	. . . % . . .(nr. de particule . . . . . μm) p = bar	
12	Determinarea rezistenţei filtrului la spargere prin contaminare	p = . . . bar	p . . . bar	
13	Determinarea rezistenţei la deformare axială	. . . daN	. . . daN	
14	Verificarea rezistenţei filtrului la oboseală datorită debitului pulsator	. . . cicluri	. . . cicluri	
15	Verificarea rezistenţei filtrului la pornirea la rece (. . . °C)	p . . . bar . . . cicluri	p . . . bar . . . cicluri	
16	Verificarea detaşării particulelor din mediul filtrant	Conf. C.S. sau S.R.		

Recomandări : . . . . . .

Concluzii : . . . . . .

Intocmit
. . . . . .

Verificat
. . . . . .

Aprobat
. . . . . .

Întreprinderea (Institutul) care a eliberat „Buletinul de încercări"

Scanned with OKEN Scanner

12.

Metodica și calculele
de proiectare a mijloacelor de filtrare dintr-o instalație hidraulică

12.1. Metodica selectării mijloacelor de filtrare

12.1.1. Cerințele sistemelor de înalt nivel tehnologic

Sistemele hidraulice de acționare, în general și cele de reglare automată, în special, necesită o mai bună filtrare ca în trecut. În prezent echipamentele sînt tot mai complexe și incorporează elemente cu toleranțe mecanice tot mai mici. De exemplu, jocul dintre sertar și corp la o servovalvă este de ordinul unui micron. Inițial, s-a crezut și s-a acționat pentru echiparea instalației cu un filtru cu o finețe absolută de filtrare de 3μm. În prezent, pe baza examinării cauzelor defectării roboților industriali [64, 65], s-a ajuns la concluzia că acest mod de gîndire este depășit. Problemele esențiale și totodată critice în acest sens sînt : selectarea filtrelor și plasarea filtrelor în instalații. Rezolvarea corespunzătoare a acestor două probleme, și pe baze științifice, asigură funcționarea fără defectări a instalațiilor și în condiții economice.

Îmbunătățirea filtrării nu înseamnă neapărat o filtrare ultrafină, ci o filtrare adecvată nevoilor sistemului/instalației și a componentelor ei.

Scanned with OKEN Scanner

12.1.2. Necesitatea abordării teoretice

Nevoia de a filtra mai bine mediul hidraulic/pneumatic din IAH/IRU/IAP i-a determinat, atît pe producătorii de echipamente, cît şi pe utilizatori, să acorde o mai mare atenţie situaţiilor ce nu au fost tratate adecvat în trecut. Pînă nu de mult, nu existau mijloace rapide de selectare a mediilor filtrante/filtrelor, iar modelele analitice utilizate erau greoaie şi nu în întregime publicate. De aceea, la prima vedere, utilizatorul de filtre îşi poate apropia problema pe două căi : prin *filtrare nominală* şi prin *filtrare absolută*, luînd astfel în considerare un număr limitat de factori.

Filtrarea nominală. Bazîndu-se pe experienţa proprie şi pe recomandările firmelor producătoare de filtre, proiectantul va selecta un filtru cu o fineţe nominală de 10 sau 25 μm. Defectările rezultate sînt considerate normale şi datorate uzurii inevitabile, ori sînt atribuite calităţii necorespunzătoare a filtrului.

Filtrarea absolută. Proiectantul presupune, sau este convins de producătorul de filtre, că utilizarea unui filtru ultrafin conduce, în mod automat, la un fluid ultracurat. Dacă în acest caz, componentele se defectează prematur, atunci evident, se consideră că este vina exclusivă a filtrului, întrucît s-a folosit cel mai bun filtru disponibil, cu o fineţe de filtrare absolută de 3 μm.

Aşadar, indiferent de modul de selectare a filtrului/filtrării, apar defectări repetate ale elementelor. Aceasta conduce la concluzia că alegerea unui filtru trebuie să fie rezultatul unor calcule analitice mai complexe care să incorporeze mai mulţi factori. Măsurători asupra stării de contaminare a fluidului filtrat cu filtrele alese după cele două criterii au arătat că acesta nu este atît de curat pe cît ne-am aştepta în raport cu filtrul existent în instalaţie şi nu îndeajuns de curat pentru a permite o durabilitate mare a elementelor componente.

Doi factori au devenit clari pentru utilizatorul de filtre :

1) eficienţa de filtrare a unui filtru nu este singurul factor care afectează gradul de curăţenie a unui fluid şi

2) este necesar un instrument/mijloc analitic de calcul care să incorporeze toţi factorii pertinenţi şi care să poată contribui la predeterminarea stării de curăţenie a fluidului dintr-o instalaţie.

Scanned with OKEN Scanner

12.1.3. Factorii necesari pentru selectarea unui filtru

Producătorii şi utilizatorii de filtre au ajuns la concluzia că există un număr de factori care influenţează în mod determinant gîndirea în alegerea stării de contaminare a fluidului dintr-o instalaţie. Aceştia sînt :

a. Amplasarea filtrelor în instalaţie ;
b. Sensibilitatea la contaminare a elementelor ;
c. Întreţinerea filtrelor ca un criteriu de proiectare ;
d. Analiza continuă a stării de contaminare a mediului hidraulic ;
e. Existenţa unui criteriu beneficiu/cost în alegerea filtrelor ;

O scurtă analiză a fiecăruia dintre factori le va preciza importanţa în procesul selectării filtrelor şi în exploatarea instalaţiilor.

a. *Amplasarea filtrelor într-o instalaţie.* Sînt posibile următoarele modalităţi de amplasare a filtrelor : pe aspiraţia pompei, pe refularea pompei, pe conducta de retur, pe o conductă de ocolire.

Se pune întrebarea, care dintre aceste soluţii este mai bună? Fiecare mod are avantajele lui şi poate fi cuantificat în egală măsură, aşa cum rezultă din capitolele 12.2, 12.3. şi 12.4.

b. *Sensibilitatea elementelor instalaţiei* are în vedere următoarele aspecte :

— elementele instalaţiei au sensibilitate diferită la contaminare de nivel egal ;
— este posibil să fie factorizată sensibilitatea şi să fie implementată în procesul de selectare a filtrelor.

Durabilitatea celor mai sensibile elemente se poate prelungi astfel, inclusiv pe baza reducerii nivelului de contaminare.

c. *Întreţinerea filtrelor reprezintă un criteriu de proiectare/selectare a filtrelor.* Producătorii şi utilizatorii de echipamente hidraulice sînt tot mai preocupaţi de defectarea prematură a instalaţiilor datorită întreţinerii necorespunzătoare. Este foarte comun ca operatorii instalaţiilor sau mecanicii de întreţinere să ignore filtrele îmbîcsite intrate în by-pass în timpul funcţionării, întrucît nu vor să oprească instalaţia. De aceea, filtrele care cer o întreţinere frecventă sînt evitate în favoarea celorlalte, chiar în detrimentul calităţii filtrării.

d. *Analiza stării de contaminare a fluidului* este singura cale de a şti dacă fluidul este suficient de curat şi acest lucru trebuie implementat ca o practică curentă pentru toate instalaţiile pretenţioase. Mergînd un pas mai departe, funcţionarea corectă a filtrelor este prin-

Scanned with OKEN Scanner

cipalul responsabil al productivității instalațiilor. Operatorul care răspunde de aceasta trebuie să verifice dacă filtrele au fost sau nu bine alese și întreținute, prin prelevarea continuă și testarea de eșantioane de fluid. Aceste eșantioane sînt testate de producătorul de filtre sau de utilizator însuși. Costul operației este relativ scăzut, dar acțiunea în sine este extrem de eficientă.

e. *Eficiența filtrării* se pune în primul rînd în faza de proiectare/întreținere a instalațiilor, unde se urmărește maximizarea raportului beneficiu/cost al filtrului. Acest lucru nu se poate atinge însă, fără o metodologie științifică de apropiere a selectării filtrului/filtrelor pentru o instalație dată.

Din cele de mai sus, rezultă, ca o concluzie unică, nevoia de cuantificare a tuturor factorilor enumerați și de asamblarea lor într-o metodă de selectare a filtrelor pentru o instalație cu o structură precizată. S-a ajuns astfel la o metodă bine cristalizată, metodă prezentată în cele ce urmează.

12.1.4. Procesul de selectare a filtrelor

Înainte de a arăta care sînt etapele procesului de selectare, vor fi precizate cîteva chestiuni de ordin general și anume :

a. Întotdeauna se folosește un filtru pe aspirația pompei sau sorb imersat pentru a o proteja de particulele mari (40 — 100) μm, existente în rezervor. Este de preferat, în conjuncție cu pompele cu capacitate constantă, un filtru de aspirație prevăzut cu indicator de îmbîcsire și montat între rezervor și pompă. Sorburile montate în rezervor sînt adeseori perforate de particule mari și nu pot fi înlocuite cu aceeași facilitate. Pentru pompele cu capacitate variabilă însă, care sînt reglate rar, filtrul extern de aspirație trebuie însoțit și de unul de tip sorb ales pentru debitul maxim.

b. Se folosește un filtru de presiune (pe refularea pompei) și/sau un filtru de retur pentru a ține sub control nivelul global de contaminare a fluidului. Folosit singur, filtrul pe aspirație este arareori suficient. În alte instalații, poate fi necesar un circuit de filtrare separat.

c. Se selectează mediul filtrant al filtrului pentru controlul contaminării, folosind metode științifice. Regulile arbitrare, nefundamentate analitic, folosite în trecut, nu asigură un nivel corespunzător de protecție a instalației și conduc în timp la un cost mai ridicat de întreținere a acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

d. Se selectează filtrul după selectarea mediului filtrant și după luarea deciziei de amplasare a filtrului.

Pătrunzînd mai în detaliu în procesul de selectare a filtrului, pot fi puse în evidență următoarele etape :

1. Determinarea sensibilității elementelor instalației la contaminarea fluidului

Această etapă se bazează pe recomandările producătorilor de echipamente (v. cap. 5). Aceasta constă în două subetape :

— Mai întîi se precizează nivelul de curățenie a fluidului necesar pentru elementele hidraulice tip, apreciate prin standardele ISO, SAE, AFCTD (gravimetric), MIL. STD 1246A, NAS 1638 etc. (tabelul 12.1). Sensibilitatea elementelor se determină de către producătorii respectivi, pe bază de teste și pe baza experienței de lucru reală a utilizatorilor. Se are în vedere tipul de fluid folosit în instalație și presiunea nominală cu care lucrează elementele.

Tabelul 12.1

Clasele nivelului de curățenie a fluidului, necesar pentru funcționarea unor componente ale instalațiilor hidraulice

Elementul	Clasificarea fluidului	
	Cod ISO	SAE-749 D
Servodistribuitoare	14/11	2
Pompe/motoare cu palete și pistoane	16/13	4
Distribuitoare discrete și supape de reglare a presiunii	16/13	4
Pompe/motoare cu angrenaje	17/14	5
Rezistențe hidraulice și motoare hidraulice liniare	18/15	6

Producătorii de echipamente specifică, în mod uzual, nivelul maxim admis al contaminantului din fluid, pentru care produsul respectiv este garantat. Acesta este, în general, conform cu datele din tabelul 12.1.

— Pe baza datelor din tabelul 12.2, se stabilește corelația dintre clasele SAE și codul ISO și concentrația de contaminanți. De exemplu, pentru pompele cu capacitate reglabilă și pentru durabilitate maximă, contaminarea nu trebuie să depășească 125 particule mai mari de 10 μm sau mai mari la un mililitru de fluid din sistem ; la 100 ml, se obțin 12 500 particule, ceea ce corespunde clasei 4 SAE sau

16/13 ISO. Aceste cifre se bazează pe funcţionarea la presiunea maximă, la care aceste pompe vor lucra cu un fluid dat.

Tabelul 12.2

Clasificarea/corelaţia dintre clasa de puritate şi numărul de particule mai mari de 10 μm procente în 100 ml

Codul ISO	Particule/litru[1] ⩾ 10 μm	ACFTD[2] nivel gravimetric [mg/l]	STD MIL 1246A (1967)	NAS 1638 (1964)	SAE nivel (1963)
26/23	140 000 000	1 000			
25/23	85 000 000		1 000		
23/20	14 000 000	100	700		
21/18	4 500 000			12	
20/18	2 400 000		500		
20/17	2 300 000			11	
20/16	1 400 000	10			
19/16	1 200 000			10	
18/15	530 000			9	6
17/14	280 000		300	8	5
16/13	140 000	1		7	4
15/12	70 000			6	3
14/12	40 000		200		
14/11	35 000			5	2
13/10	14 000	0,1		4	1
12/9	9 000			3	0
11/8	5 000			2	
10/8	3 000		100		
10/7	2 300			1	
10/6	1 400	0,01			
9/6	1 200			0	
8/5	600			0	
7/5	300		50		
6/3	140	0,001			
5/2	40		25		
2/0,8	10		10		

[1] Aceste valori sînt aproximative întrucît diferitele standarde nu compară exact particule de 10 μm sau mai mari.

[2] Air Cleaner Fine Test Dust (ACFTD).

2. Selectarea locului de amplasare a filtrului

Cunoscînd sensibilitatea elementelor IAH la prezenţa contaminantului, calitatea filtrării se poate îmbunătăţi printr-o decizie adecvată asupra amplasării filtrelor în instalaţie.

Scanned with OKEN Scanner

Amplasarea va depinde de cele mai sensibile elemente din sistem, de cît de sensibile sînt aceste elemente la particule de diferite mărimi, unde sînt plasate în instalaţie aceste elemente şi de debitul care circulă prin ramurile respective ale instalaţiei.

Considerăm, ca exemplu, schema hidraulică a unei instalaţii din fig. 12.1, care incorporează trei filtre amplasate diferit şi un filtru de aspiraţie. Dacă unul dintre distribuitoare, de exemplu servodistribuitorul, este extrem de sensibil, necesitînd un filtru cu $\beta_{10} = 3000$ (3 μm fineţe absolută), atunci proiectantul ar dori să plaseze

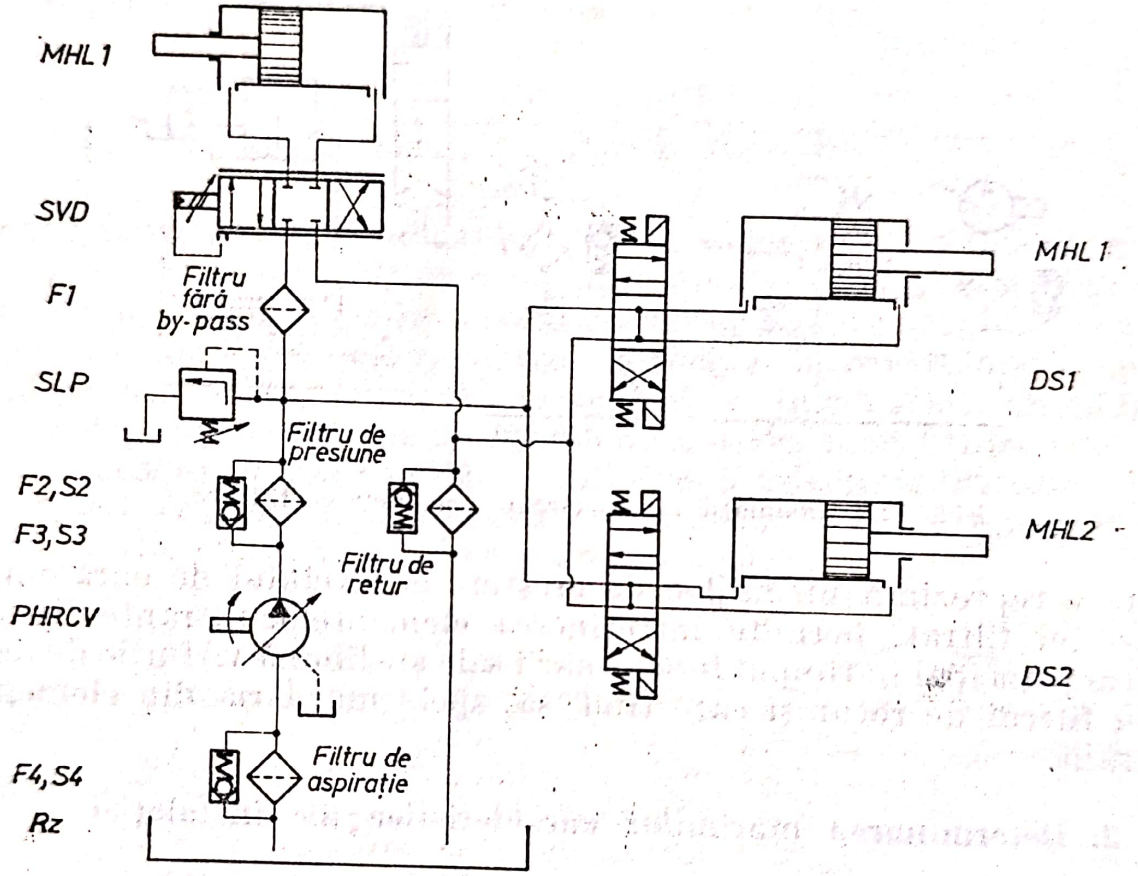


Fig. 12.1. Amplasamente posibile ale filtrelor într-o instalaţie hidraulică.

un filtru fără supapă de ocolire chiar în faţa servodistribuitorului (*SVD*) ca în figură, filtrul F_1. Cu toate acestea, filtrarea debitului din ramura respectivă nu poate fi suficientă, astfel încît filtrul să reţină atîta contaminant pentru a menţine curat întregul fluid necesar/ pompat de pompa cu capacitate reglabilă *PHRCV*. De aceea, instalaţia a fost prevăzută cu un filtru de retur *F*3. Dacă şi distribuitoarele cu sertar *DS*1 şi *DS*2 necesită protejarea lor, atunci s-a prevăzut un filtru de presiune *F*2. Întrucît întregul debit trece prin filtrul *F*2,

atunci filtrul de retur $F3$ ar putea lipsi, cu excepţia situaţiei cînd motoarele ar fi mari generatoare de microaşchii. Dacă, însă, pompa este foarte sensibilă, atunci menţinerea filtrului $F3$ se impune, întrucît acesta va reţine particulele produse de distribuitoarele $DS1$, 2, precum şi pe cele care pătrund în fluid prin etanşările tijelor celor două motoare liniare MHL 1, 2. Oricum, rămîn nefiltrate debitele care părăsesc circuitul de presiune prin drena pompei şi prin supapa de presiune SLP. Ar putea fi necesară adăugarea unui circuit „off-line" de filtrare, aşa cum rezultă din fig. 12.2. Circuitul suplimentar de

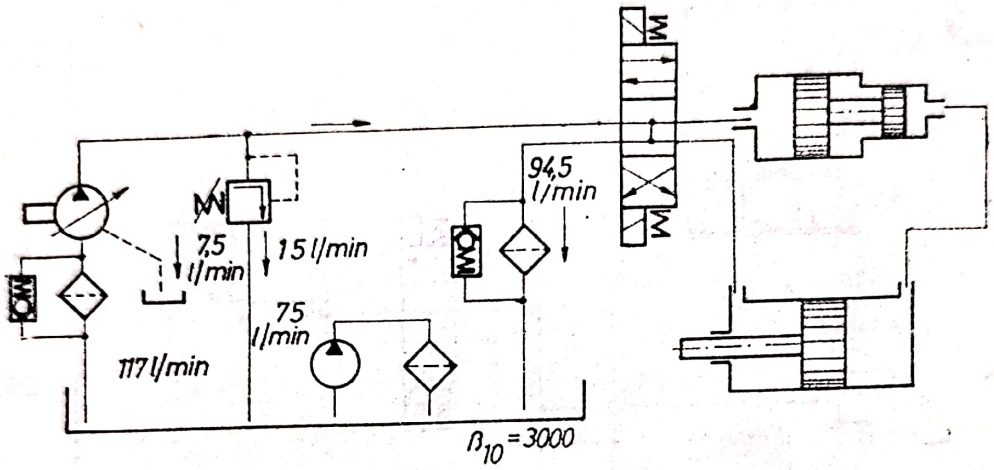


Fig. 12.2. Instalaţie cu un circuit „of-line" de filtrare.

filtrare reprezintă un mijloc de creştere a nivelului de curăţenie a fluidului filtrat, permite întreţinerea elementelor filtrante din circuitul principal în timpul funcţionării sale şi elimină vîrfurile de debit prin filtrul de retur şi care tind să spele murdăria din elementul filtrant.

3. Determinarea mărimilor caracteristice ale instalaţiei

În vederea alegerii filtrului, proiectantul trebuie să cunoască mărimile funcţionale ale instalaţiei. Astfel, pentru fiecare ramură de instalaţie care cuprinde un filtru, se determină : — viscozitatea mediului hidraulic ; presiunea maximă (vîrfurile de presiune) ; debitul maxim (vîrfurile de debit) ; debitul mediu ; viteza de pătrundere în instalaţie a contaminantului.

Viscozitatea afectează căderea de presiune în filtru. Vîrfurile de presiune determină dimensiunea corpului filtrului. Oscilaţiile de presiune nu au un efect atît de mare asupra dimensionării, decît dacă se are în vedere solicitarea la oboseală a corpului. Vîrfurile de debit, alături de viscozitate, afectează alegerea dimensiunilor interioare ale

Scanned with OKEN Scanner

spațiilor de curgere ale fluidului. Debitul mediu este folosit în alegerea mediului filtrant. Viteza de pătrundere a contaminantului afectează, după cum se va vedea, decizia asupra mediului filtrant/filtrului.

4. Selectarea mediului filtrant și a factorului de filtrare β_x

Anterior selectării mediului filtrant, este necesar de știut cît de eficient este acesta în reținerea contaminantului. Vom prezenta în subcapitolul 12.1.5. concluziile care se impun în urma studiilor efectuate și prezentate pe larg în capitolele anterioare.

12.1.5. Funcționarea unui sistem fizic real

Se va prezenta, în acest capitol, modul în care mediul filtrant este încercat și ales pentru filtrarea mediilor apoase și pe bază de petrol, în scopul de a furniza utilizatorului un mijloc de lucru rapid, pe baza căruia să se poată specifica pentru a fi folosit într-o instalație dată filtrul potrivit și mai ieftin. Va fi concentrat, în rezumat, un minim de date deja prezentate pe larg în lucrare, astfel încît utilizatorul să poată cunoaște în mare problema filtrării și selectării filtrelor, fără a fi obligat să parcurgă întreaga lucrare, atunci cînd, din motive de operativitate, nu are răgazul necesar să o facă.

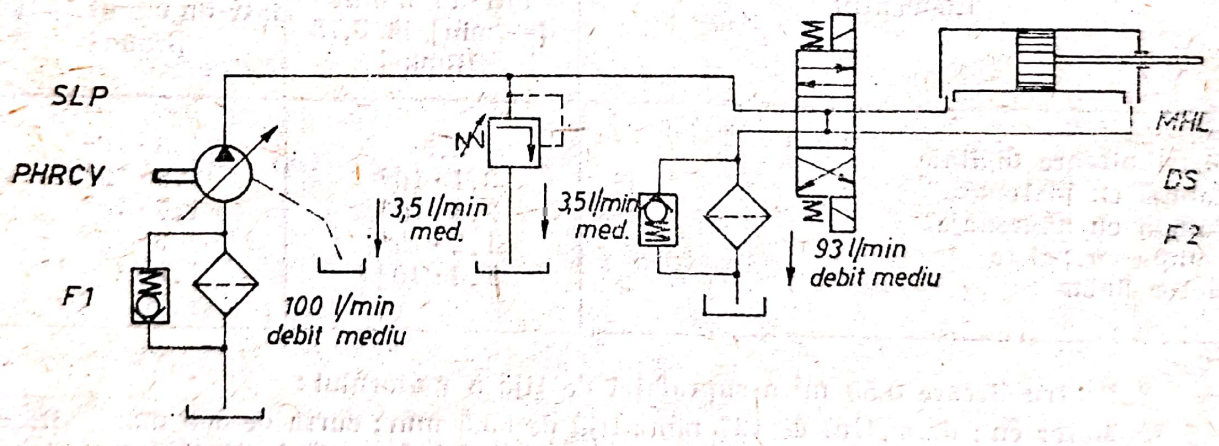


Fig. 12.3. Instalație hidraulică simplă.

Fig. 12.3 prezintă schematic o instalație care include toate componentele cheie ale unui sistem fizic. Cu ajutorul ei, se va explica modul în care se comportă un filtru într-o instalație. Instalația cuprinde : un filtru F_1 aflat pe aspirația pompei cu capacitate variabilă

Scanned with OKEN Scanner

PHRCV, supapa de limitare a presiunii *SLP*, distribuitorul cu sertar *DS*, motorul hidraulic liniar *MHL* și un filtru de retur F_2.

Contaminantul poate intra în instalație printr-o mulțime de puncte:

- se află în interiorul elementelor ca rezultat al procesului de fabricație și transport;
- este aportat de lichidul de lucru și de cel de completare;
- este generat prin rodaj de elemente în procesul de funcționare, în special în primele ore;
- este aportat în rezervor sau în incinta instalației de mediul ambiant prin etanșările mobile, prin curățirea filtrului;
- este format prin depunerile aditivilor din mediul lichid, care se rup în acizi, săpunuri ce devin contaminanți.

În mod uzual, contaminanții care intră într-o instalație industrială mare sînt măsurabili în dimensiunni pe intervale din 5 în 5 μm și sînt, pentru 10 μm, cuprinși între 10^6 și 10^9 part/minut. Mărimea reală depinde de mărimea instalației, de viteza procesului de uzură

Tabelul 12.3

Valori tipice ale contaminării produsă prin uzura elementelor instalațiilor hidraulice

Elementul	Particule cu mărime $\geqslant 10$ μm într-un minut [—/min] la 3,78 [l/min]	Particule cu mărime $\geqslant 10$ μm într-un minut la 190 [l/min]
Distribuitoare digitale	3,5	$1{,}8 \cdot 10^2$
Pompă cu pistonașe	$3{,}1 \cdot 10^3$	$1{,}6 \cdot 10^5$
Pompă cu angrenaje	$3{,}4 \cdot 10^3$	$1{,}7 \cdot 10^5$
Pompă cu palete	$1{,}2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^5$
Motor liniar	$1{,}4 \cdot 10^3$ *	$1{,}1 \cdot 10^4$ **

* Pentru fiecare 0,55 m^2 a suprafeței de tijă a motorului;

** Motor cu: diametrul de 127 mm; tijă de 63,5 mm; cursa de 305 mm; viteza liniară de $5 \cdot 10^{-3}$ m/s; timpi egali de deplasare în ambele sensuri; sarcina per ciclu, 50 %.

internă a pieselor în mișcare relativă, a etanșărilor și de gradul de poluare ambiental. Tabelul 12.3 prezintă aceste date. Particulele $\leqslant 5$ μm sînt principalele vinovate de blocajul distribuitoarelor. Este

de la sine înțeles că elementele individualizate nu pot produce particule de ordinul 10^6 part/min doar datorită propriei uzuri și că acest lucru se produce la instalații cu mai multe componente, unde se ajunge ușor la 10^7 part/min, datorită uzurii.

Viteza de pătrundere în instalații a contaminanților depinde de nivelul contaminării mediului ambiant în care se află instalația. Experiența arată că nivelul contaminantului care pătrunde în instalație este apropiat de cel produs prin uzură de instalația însăși.

Dar filtrele reține, din fericire, acest contaminant într-un procent direct proporțional cu debitul care îl traversează. Procentul de reținere depinde de eficiența filtrului. Dacă viteza de pătrundere și cantitatea de contaminant generat sau aportat în instalație sînt egale nivelul de contaminare al lichidului din instalație este stabilizat. Problema care rămîne de precizat este ce filtru (și cu ce mediu filtrant) trebuie selectat și implementat în instalație, astfel încît aceasta să poată funcționa/supraviețui cu respectivul nivel de contaminant în mediul lichid.

a. Eficiența filtrării și factorul de filtrare

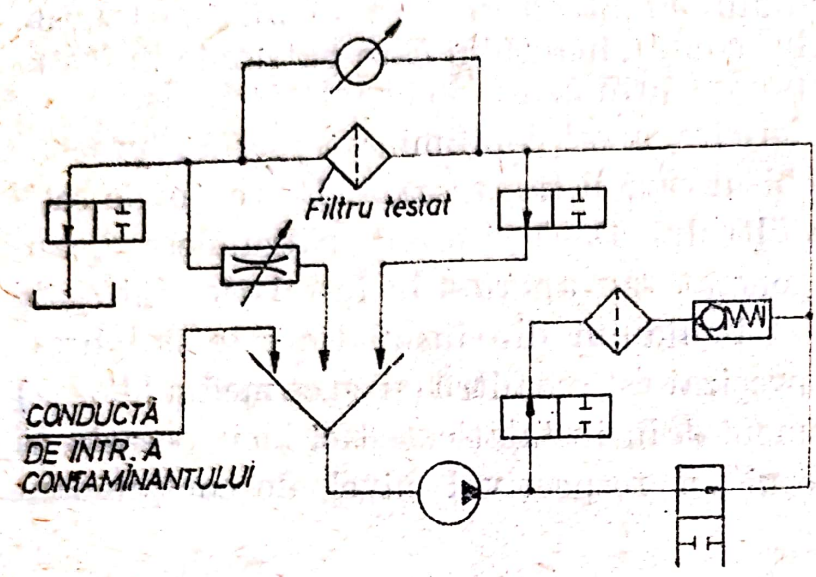
Cheia problemei este eficiența filtrului din moment ce este ușor de precizat debitul care îl traversează. Eficiența filtrului se precizează astfel încît să fie utilizabilă în orice sistem real. În acesta, o parte a contaminantului este reținută de filtru, o alta îl traversează și mult mai mult este aportată de sursele arătate. De aceea, este necesară încercarea eficienței elementului filtrant, astfel încît rezultatele să fie general valabile. Metoda de testare a filtrului se numește metoda trecerilor multiple (MTM). Procedura de terminare a eficienței, realizată cu această metodă, simulează în mod realistic o instalație reală, prin introducerea în fluid, în mod continuu, a unui contaminant cunoscut pe care filtrul îl reține (fig. 12.4, *a*).

Se iau simultan eșantioane de fluid din amontele și avalul filtrului testat și se repetă aceasta de mai multe ori, pentru a determina o valoare medie a eficienței pentru toată durabilitatea elementului filtrant.

Eficiența filtrării se exprimă analitic prin intermediul factorului β_x. Acesta reprezintă raportul dintre numărul de particule din amonte

și numărul de particule din aval într-un domeniu de dimensiune notat cu x. Se scrie mai întîi :

$$\beta_x = \frac{N_x\,(amonte)}{N_x\,(aval)}. \qquad (12.1)$$



a

Fig. 12.4, *a*. Instalație pentru metoda trecerilor multiple.

De exemplu $x = 10$ se referă la intervalul particulelor mai mari de 10 μm, iar $\beta_{10} = 4$ se poate obține pentru $N_{10}\,(am) = 50\,000$ și $N_{10}(av) = 12\,500$. Aceasta înseamnă că un sfert din particulele mai mari de 10 μm trec prin filtru, nefiind reținute de acesta ; restul de trei sferturi au fost capturate.

Rezultă, așadar, că inversul lui β_x reprezintă ineficiența filtrului, iar $1 - 1/\beta_x$ eficiența sa în același domeniu de mărime a particulelor. Se scrie astfel, exprimat în procente :

$$E_x[\%] = (1 - 1/\beta_x) \cdot 100 \qquad (12.2)$$

Eficiența filtrării se dovedește a fi : „Capabilitatea unui filtru de a reține un contaminant artificial specificat, de o anumită concentrație, în condiții precizate de încercare". Singurul test, acceptat și însușit de ISO, este testul trecerilor multiple, agreat simultan de ANSI (American National Standards Institute) și NFPA (National Fluid Power Association din S.U.A.), sub codul ANSI/B 93.31—1973.

Pentru exemplul citat mai sus, $E_{10} = 75\%$. În tabelul 12.4, *a* și *b*, se prezintă o extensie a relației (12.2) pentru diferite valori ale lui β și E. Factorul β și eficiența E sînt singurele metode recunoscute oficial în standardele naționale și internaționale [6, 10, 11 21, 24, ... , 29, 57, 64, 65 etc.] de apreciere/calcul al unui filtru sub raportul funcției de filtrare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.4, a și b

Corelația dintre factorul β și eficiența filtrării E

a)

β [−]	E [%]
1,01	1
1,10	9
2,00	50
10,00	90
100,00	99
1000,000	99,9

b)

Nr. part./unit. vol. Amonte	Nr. part./unit. vol. Aval	β(10), β_{10} [−]	$E(10)$, E_{10} [%]
5 000	2 500	2	50
5 000	1 000	5	80
5 000	500	10	90
5 000	200	25	96
5 000	100	50	98
5 000	50	100	99
5 000	10	500	99,8
5 000	5	1 000	99,9
5 000	2	2 500	99,96

b. Metoda trecerilor multiple

Aceasta este un standard oficial ISO. Dar, cu toate acestea, modalitățile de definire, de către producătorii de medii filtrante, a fineței de filtrare tinde să fie arbitrară. Aceste modalități sînt : finețe de filtrare nominală, absolută și medie.

Finețe nominală de filtrare, f_n, se definește a fi : „O valoare arbitrară, exprimată în micronimetru, indicată de producătorul de filtre". Datorită lipsei de reproductibilitate, nu se poate realiza o comparație cu conținut semnificativ de informații între datele furnizate de diferiții producători de filtre.

Finețea absolută de filtrare, f_a se definește a fi : „Diametrul celei mai mari particule sferice solide care străbate filtrul în condiții specificate de încercare". Dacă mediile filtrante care se compară cu acest indicator sînt de tip țesături de sîrmă, atunci produsele diferiților fabricanți pot fi comparate cu acest indicator.

Finețea de filtrare absolută este obținută la intersecția curbei $E(f)$ cu $E(\%)=100$, iar finețea de filtrare nominală — la intersecția curbei $E(f)$ cu $E(\%) = 98$ (v. fig. 12.4, *b*).

Este, de aceea, recomandabil, un mod de abordare unic ; acesta se profilează a fi următorul :

— se definește drept finețe de filtrare nominală, finețea x la care $\beta_x = 2$; astfel, finețea nominală are o semnificație mai puțin arbitrară ;

— finețea de filtrare absolută este finețea de x μm, la care $\beta_x = 75$.

Procedînd astfel, dacă se au în vedere particulele în mărime de pînă la 20 μm, finețea de filtrare nominală de 20 μm se definește prin $\beta_{20} = 2$, iar $\beta_{10} \geq 75$ (98,7%) definește o finețe de filtrare absolută de 10 μm.

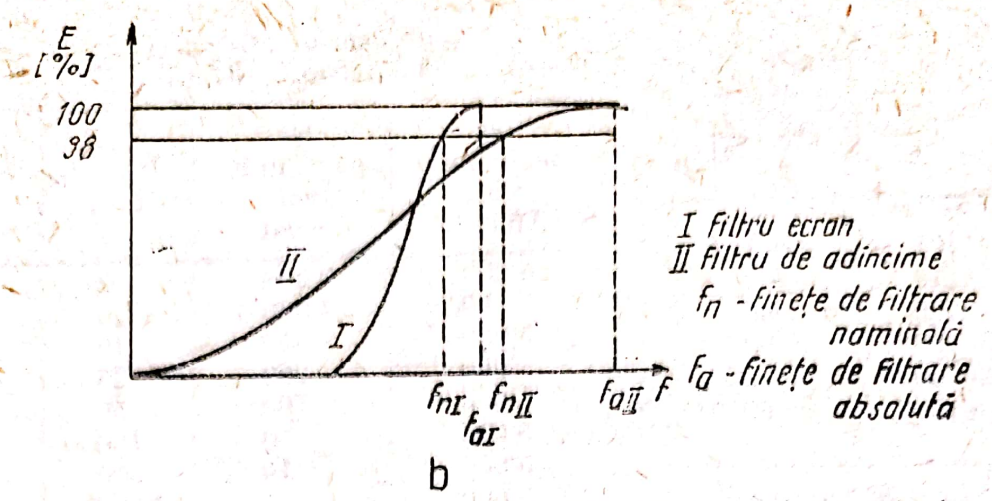


Fig.12.4, *b*. Graficele eficienței filtrării la filtrele ecran și de adincime și definirea finețelor absolută și nominală.

c. Factorii care afectează factorului de filtrare beta

Factorul β_x obținut prin *MTM* face obiectul unor variații datorită testului însuși. De aceea, unele mărimi, variabile și aflate la libera opțiune a utilizatorului, trebuie bine stăpînite în laboratorul care efectuează încercările, iar rezultatele extreme trebuie comparate cu rezultatele obținute în alte laboratoare.

c1. Căderea finală de presiune Δp_f în filtrul testat

Această mărime nu este specificată de standard, care precizează însă doar punctele/momentele în care se prelevează eșantioanele ca un procent din căderea finală de presiune aleasă de laboratorul însuși.

În general, valori mai ridicate ale lui Δp_f produc valori mai mici ale lui β_x. Aceasta se datorează faptului că, cu creșterea lui Δp_f, o cantitate tot mai mare de murdărie/contaminant are tendința să forțeze traversarea filtrului. De aceea, testele realizate într-un laborator, care a ales un Δp_f mai mic, conduc la valori mai ridicate ale factorului β_x. O valoare uzuală a lui Δp_f, folosită de numeroase firme producătoare de filtre, cum sînt Purolator, Vickers, Parker, Hydac [10, 33, 64, 65, 78] este de $2{,}75 \cdot 10^5$ N/m^2.

c2. Metoda de prelevare a eșantioanelor și de numărare a particulelor

Aceasta influențează, în mare măsură, rezultatele obținute (β_x). În tabelul 12.5, sînt prezentate rezultatele unor verificări multiple făcute asupra datelor obținute de mai multe laboratoare.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.5

Domeniul variației β_x datorită condițiilor de testare

Raportul β_{10} Real	Domeniul valorilor măsurate ale raportului β_{10}
2,00	1,5—2,7
10,00	6,9—14,0
75,00	35,0—130

c3. Umiditatea locală din laborator și electricitatea statică a mediului hidraulic pentru care se face testul

Cercetările efectuate la Oklahoma State University au arătat că cei doi factori enumerați mai sus influențează rezultatele. Influența este mai semnificativă cu eșantioane de fluid proaspăt testat în mediu uscat. Limita superioară, acceptată pentru densitatea de sarcină din mediul hidraulic, este stabilită la 10^{-6} C/m^3; aceasta se reglează prin introducerea unui aditiv antistatic în fluidul testat.

Cît privește umiditatea relativă a mediului ambiental din laborator, s-a stabilit că aceasta influențează indirect rezultatele măsurătorilor, prin intermediul sarcinii electrostatice din lichidul testat. Rezultatele prezentate în lucrare au fost obținute în mediul controlat cu umiditate de 30% pînă la 40%

c4. Debitul care traversează mediul filtrant

Pentru a minimiza efectul acestuia asupra rezultatelor, s-ar impune standardizarea unor valori de debit în care să se efectueze încercările. Cel mai uzual este debitul de 86,6 l/min sau 20 gpm în unități anglo-saxone.

c5. Metoda de calcul a factorului beta (β_x)

Standardul ISO precizează că factorul beta să fie calculat pentru căderi de presiune în elementul filtrant, corespunzătoare următoarelor procente din căderea terminală de presiune : 5%, 10%, 20%, 40%, 80% și 100%. Totodată, se precizează că valorile minime ale factorului β_{10} să fie selectate și înregistrate pentru valorile de 10%, 20%, 40% și 80% din căderea finală de presiune. Valoarea minimă a lui β_{10} se produce uzual în punctul de 80%.

Scanned with OKEN Scanner

Firmele producătoare de filtre [78] consideră că valorile medii ale lui β_{10}, calculate în punctele cu cădere de presiune de 5%, 10%, 20%, 40% și 80%, sînt deosebit de utile în predeterminarea performanțelor filtrelor din sistemele reale. Aceste puncte au fost alese întrucît cea mai mare parte a contaminantului este reținut de filtru pe domeniul 0—80% a procentului de presiuni diferențiale reduse. De aceea, valorile medii ale lui β_{10} se calculează și s-au impus ca valori minime.

Pentru a contura complet problema, trebuie arătat că fiecare producător de filtre/medii filtrante determină în laborator, în condiții identice, valorile minime și medii a factorului β_{10} pentru fiecare tip de filtru/mediu filtrant. În tabelul 12.6, se prezintă un exemplu pentru produse ale firmei Parker.

Tabelul 12.6

Domeniul variației lui β_x datorită condițiilor de testare *a)*

Codul mediului filtrant	Factorul β_{10} minim	*b)* Factorul β_{10} mediu
03 B	400	3 000
10 B	200	1 500
03 C	11,8	23,0
10 C	1,8	2,0
20 C	1,05	1,11
40 SA *c)*	1,03	1,09

a) Teste realizate conform standardului ANSI/B93.31—1973;

b) Căderea terminală de presiune $\Delta p_f = 2{,}76 \cdot 10^5$ [N/m²], iar procentele din Δp_f sînt 5%, 10%, 40%, și 80%, date folosite și pentru trasarea nomogramelor din fig. 12.5;

c) $\beta_{40} = 2{,}9$, pentru acest filtru.

12.2 Alegerea mediului filtrant

12.2.1. Calcul simplificat. Instalația cu un singur filtru

Utilizarea informațiilor furnizate anterior se finalizează în algoritmi de calcul/selectare științifică a mediului filtrant. Pentru simplificarea activității de selectare, au fost dezvoltate metode analitice de rezolvare a ecuațiilor implicate, și transformate, fie în abace [33, 65], fie în softwareuri specializate și implementate pe calculatoare numerice.

Scanned with OKEN Scanner

În cele de mai jos, se vor prezenta ideile principale utilizate în calculul și modelarea filtrării.

Ideea de bază de la care se pornește este aceea că filtrare absolută a mediului hidraulic nu există și nici nu este necesară, dar că este necesară o stare de echilibru acceptată a contaminării, care se obține doar dacă cantitatea de particule care pătrund în instalație este egală cu cantitatea de particule reținute de filtru. Aceasta se exprimă matematic prin ecuația de echilibru a contaminantului dintr-o instalație cu un singur filtru :

$$NP_x = \frac{v_{Px}(1 - KE_x)}{QKE_x}, \qquad (12.3)$$

unde : $NP_x[-/m^3]$ este numărul de particule, de mărime x, în unitatea de volum ;

$v_{Px}[-/s]$ — viteza de pătrunere în instalație a particulelor de mărime x ;

$E_x[\%]$ — eficiența de capturare/reținere a particulelor de mărime x ;

$K[\%]$ — fracțiunea din debitul instalației ce trece prin filtru ;

$Q[m^3/s]$ — debitul total al instalației.

Scrierea ecuației (12.3) se face pentru un punct specific/reprezentativ al instalației, care este rezervorul.

Pentru folosirea ecuației (12.3), utilizatorul de filtru trebuie să înțeleagă esența problemei și variabilele cheie care intervin în modelul instalației. Acestea sînt :

— Debitul mediu prin filtru, luînd în considerație debitul maxim al pompei (cu capacitate reglabilă cînd este cazul), surplusurile de debit datorate motoarelor liniare asimetrice, acumulatoarelor etc.

— Suma tuturor debitelor, care ocolesc nefiltrate filtrul (v. fig. 12.3), prin : drena pompei, supapa de limitare.

— Cantitatea de contaminant care pătrunde în unitatea de timp în instalație.

— Factorul beta al elementului filtrant (se utilizează mai frecvent pentru particule de 10 μm, deci β_{10}) (v. cataloagele firmelor producătoare, de exemplu tabelul 12.6).

— Nivelul de contaminare maxim admis în fluid pentru ca pompa sau alte elemente sensibile la contaminant să fie protejate (v. tabelul 12.1).

Scanned with OKEN Scanner

Modelul dat de ecuaţia (12.3) aparţine firmei Parker [78] şi conduce la calculul contaminantului cu o eroare de maximum 5,8%. Eroarea medie între mărimile calculate şi cele măsurate este de maximum 1,6%, iar eroarea calculată statistic — mai mică de ± 7%.

Analizînd schema instalaţiei din fig. 12.3, constatăm că ea este formată în principal din :

— pompa cu capacitate variabilă, *PHRCV*, cu un debit maxim de 245 l/min, dar cu un debit mediu de 100 l/min. Considerăm că 3,5 l/min din debit se scurge, nefiltrat prin drenă, către rezervor ;

— supapa de limitare a presiunii, *SLP*, prin care un debit de 3,5 l/min se scurge, nefiltrat, către rezervor ;

— distribuitorul cu sertar, *DS*, care nu are, teoretic pierderi de debit comparabile cu cele anterioare ;

— motorul hidraulic liniar, *MHL*, prin care 10^7 part/min, mai mari de 10 μm, pătrund în lichidul din instalaţie ;

— filtrul de aspiraţie, sorbul care protejează pompa de particule mari, de 40 — 60 μm, prezente în rezervor, dar nu şi particule mici care sînt reţinute de filtrul de retur. De aceea, sorbul este ignorat de modelul (12.3) ;

— filtrul de refulare/retur este considerat ca avînd un factor $\beta_{10} = 2$, adică reţine jumătate din particulele mai mari de 10 μm.

Cu aceste date, se continuă calculele/selectarea filtrului, în unul din următoarele moduri :

a) *se utilizează nomogramele special concepute* (v. şi fig. 12.5) ;

b) *se utilitează rigla de selectare* [Parker, 78] ;

c) *se utilizează un software special creat în acest sens.* Această ultimă modalitate se pretează, însă, la calcule mai laborioase şi va fi prezentat mai în extenso în continuare.

Utilizarea acestui mod de rezolvare necesită, aşa cum reiese în mod evident, ca utilizatorul de filtre să aibă la dispoziţie o listă de filtre/elemente filtrante pentru care să fie cunoscute, pe bază riguros ştiinţifică, valorile medii ale factorului β_{10} Acesta este un deziderat căruia, pentru „închiderea buclei", trebuie să i se răspundă în mod corespunzător de către întreprinderile producătoare de filtre din ţara noastră.

Se va analiza în cadrul acestui capitol metoda a). Etapele de urmat sînt următoarele :

1. Se determină toleranţa la contaminare a celui mai sensibil element prezent în instalaţie, utilizînd tabelele 12.1 şi 12.2, exprimată printr-o clasă de puritate ISO/SAE (de exemplu SAE 4).

2. Se estimează viteza de pătrundere a particulelor în instalaţie, utilizînd tabelul 12.7 sau alte mijloace de apreciere, inclusiv măsurători (de exemplu 10^7 —/min).

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 12.7

Valori tipice ale vitezei de contaminare

Tipul mediului ambiant și al echipamentului	Mărimea particulelor [μm]	Viteza de pătrundere [part/min]
Echipamente pe utilaje mobile	5	$4 \cdot 10^8 - 4 \cdot 10^{10}$
	15	$4 \cdot 10^7 - 4 \cdot 10^9$
Echipamente în mediu industrial	5	$4 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^8$
	15	$4 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^7$
Echipamente în mediu purificat	5	$4 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^6$
	15	$4 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^5$

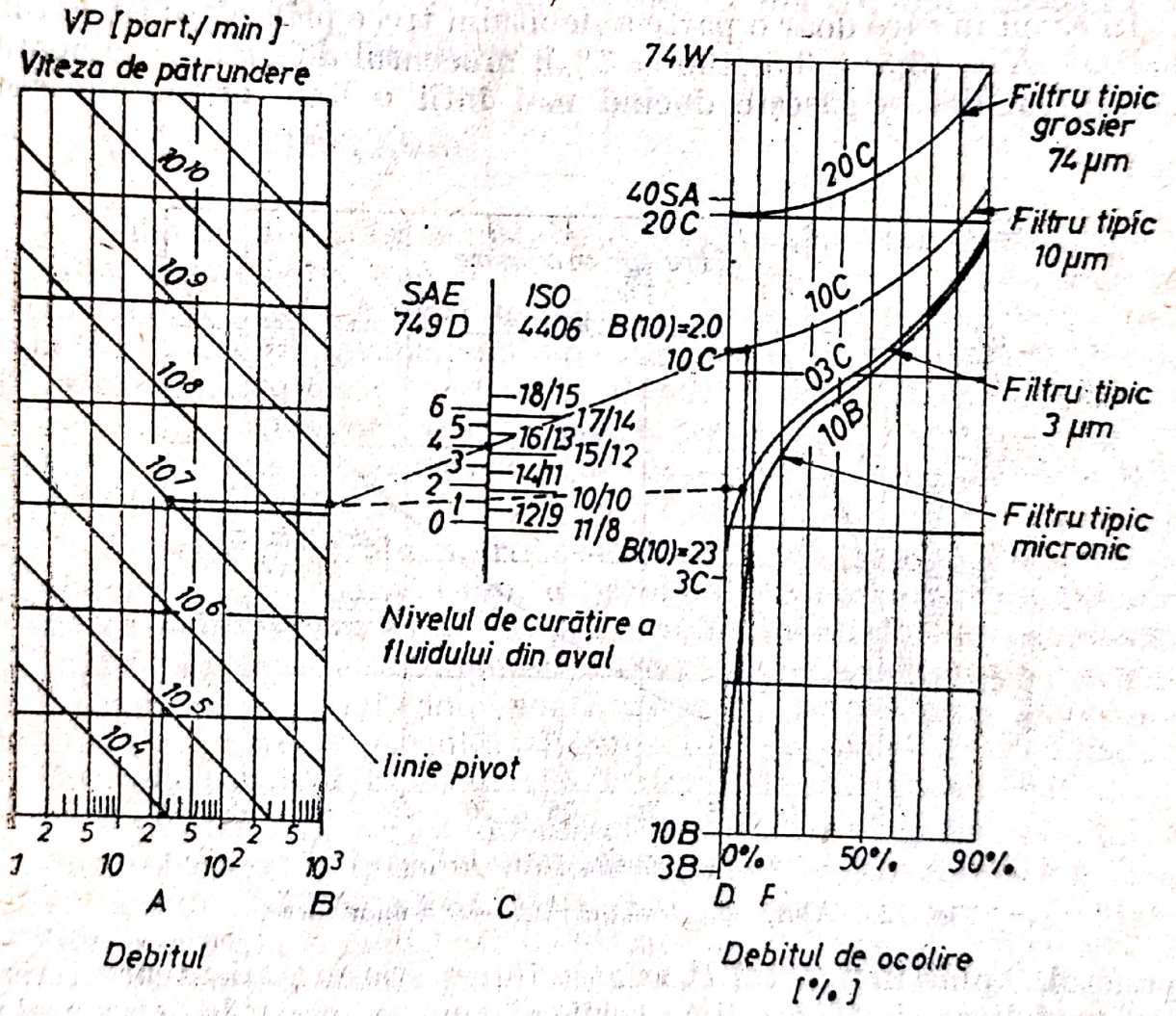


Fig. 12.5. Nomogramă și exemplu numeric de selectare a mediului filtrant.

Scanned with OKEN Scanner

3. Se determină debitul mediu prin filtru, luînd în considerație orice sursă suplimentară, variații datorate modificării capacității pompei, acumulatoare etc. (de exemplu 93 l/min).

4. Utilizînd nomograma din fig. 12.5, se caută intersecția între o linie verticală în dreptul debitului mediu și viteza de pătrundere (punctul A).

5. Din acest punct, se duce o linie orizontală pînă la intersecția cu linia pivot din stînga (punctul B).

6. Din acest punct se duce o linie prin punctul corespunzător nivelului de contaminare/puritate (punctul C), pînă la intersecția cu linia mediului flitrant la debitul de bypass/ocolire zero (punctul D).

7. *a.* Filtrarea este integrală

În cazul în care tot debitul trece prin filtru, se alege mediul filtrant/codul filtrului imediat inferior punctului D (de ex. 10 C).

7. *b.* Filtrarea este parțială

În cazul în care doar o parte a debitului trece prin filtru (în cazul analizat, $K = (3{,}5 + 3{,}5)/100 = 7\%$), procentul de fluid, care poate ocoli filtrul ales, se găsește ducînd mai întîi o linie orizontală din

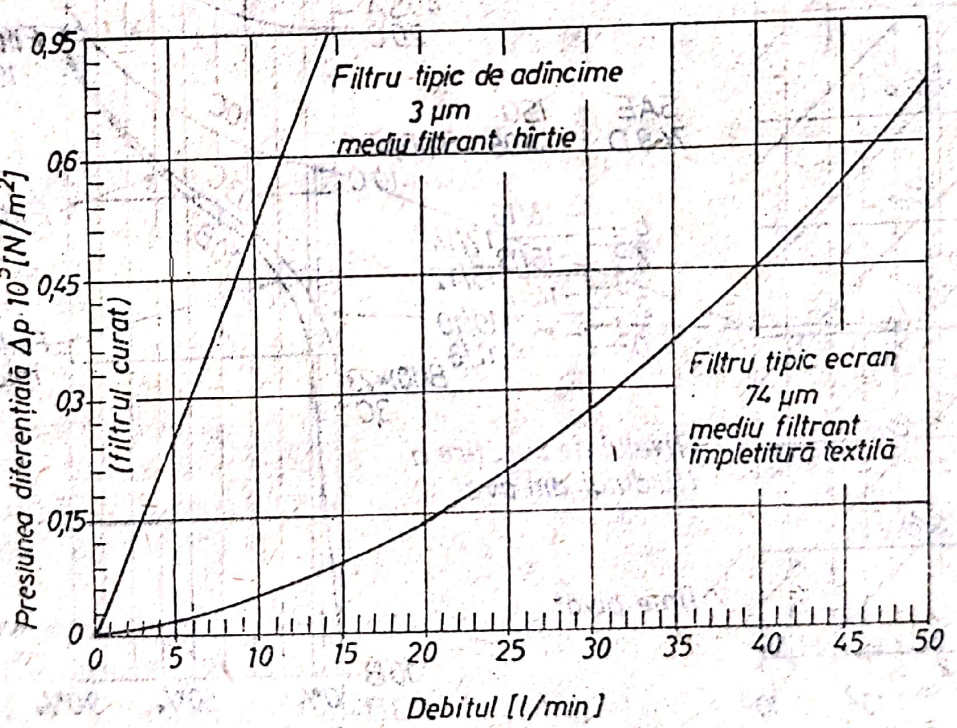


Fig. 12.6. Alură caracteristici: Δp — Q a unor filtre.

punctul D pînă în punctul F, aflat la intersecția cu graficul caracteristic mediului, și apoi o linie verticală în jos pînă la orizontala graficului din dreapta (punctul F). Procentul obținut $p \leqslant 7\%$.

Scanned with OKEN Scanner

În numeroase circuite cu filtrare parțială, nivelul debitului de ocolire se determină printr-o combinare a debitului și căderea Δp a presiunii în filtru. Fig. 12.6 prezintă alura $\Delta p - Q$ pentru cîteva filtre tipice.

Procedura poate fi și inversă. Pornind de la procentul de 7% al debitului de ocolire, care poate servi drept punct de inițializare, spre clasa de puritate a fluidului. Ceea ce se determină este în final clasa SAE/ISO de curățenie a mediului hidraulic. Utilizînd tabelul 12.2, se găsește numărul de particule aflate în echilibru în rezervor. Acest nivel se compară cu cel admis de pompă sau cel mai sensibil element din instalație.

12.3. Modele complexe de calcul pentru optimizarea selectării filtrelor

12.3.1. Introducere

Filtrele sînt atașate instalației după elaborarea schemei, pe bază de raționamente, uneori incomplete, și apoi sînt implementate pe instalația fizică. Alteori se înlocuiește un filtru *„nepotrivit"* cu un altul *„potrivit"*, atunci cînd apar probleme în exploatare. Abordarea este cel mai ades o chestiune nefundamentată. Aceasta conduce la creșterea costurilor în toate fazele, proiectare, execuție, exploatare și, cu toate acestea, cu excepția situațiilor întîmplătoare, la filtrare inadecvată aplicației respective.

Selectarea filtrului potrivit pentru o instalație dată este o problemă tehnică și, în același timp, o problemă economică. Supradimensionarea unei filtrări, în sensul performanței realizate, este o cheltuială inutilă, în timp ce subdimensionarea conduce la defectarea prematură a celor mai sensibili componenți. De aceea, au fost dezvoltate modele de calcul care să permită alegerea filtrului potrivit unei instalații, fără cheltuieli nejustificate.

Cercetări recente au fost direcționate către alegerea, încă din faza de proiectare, a filtrului necesar unei instalații. Au fost întocmite standarde (NFPA, ANSI, NAS, SAE, ISO etc.), care au făcut posibilă compararea modelelor de filtrare de pe baze reale și egale, cu un suport teoretic valabil. Au fost totodată elaborate metode care permit calculul asistat de calculator. La baza acestora, se află modele de calcul care să permită implementarea tuturor factorilor cantitativi

Scanned with OKEN Scanner

implicaţi, cum sînt : factorul de filtrare β_x ; localizarea filtrului într-o instalaţie ; parametrii funcţionali ai instalaţiei, cum ar fi debitul ; caracteristicile de contaminare ale instalaţiei ; durabilitatea şi fiabilitatea componentelor instalaţiei ; unele mărimi dimensionale, cum ar fi volumul rezervorului ; factori economici. Procedînd astfel, au fost obţinute ecuaţii matematice, care permit selectarea celui mai potrivit filtru care face posibile maximizarea durabilităţii instalaţiei şi minimizarea costurilor [10, 69]. Prezentarea acestor rezultate şi, în perspectivă, implementarea lor va creşte eficienţa filtrării şi a instalaţiilor în ansamblu, va asigura un cost scăzut al realizării şi exploatării lor.

12.3.2. Nivelul de filtrare

Durabilitatea elementelor componente ale instalaţiilor depinde de tipul, cantitatea şi mărimea particulelor contaminante care le traversează. Întrucît elementele IAH/IRU sînt sensibile la contaminare în mod diferit, nivelul de filtrare a mediului lichid trebuie acordat cu sensibilitatea la contaminare a celui mai sensibil element.

Nivelul de filtrare se asigură prin intermediul factorului de filtrare β_x, care asigură, atît cantitatea de particule care este lăsată să treacă, cît şi, prin indicele x, mărimea acestora. Pentru a asigura instalaţiei o fiabilitate maximă, factorul β_x trebuie precizat la o valoare care să menţină nivelul de contaminare sensibil mai mic decît cel necesar. Acest mod de a aborda problema se face însă în detrimentul costului iniţial şi de întreţinere. De aceea trebuie căutată o metodologie de alegere care să conducă la filtrul ce asigură, simultan cu indicatorul de fiabilitate dorit, şi un cost redus.

Factorii care afectează valoarea lui β_x sînt : nivelul iniţial de contaminare a lichidului din rezervor ; viteza de contaminare ; nivelul de contaminare acceptat de instalaţie pentru a se asigura o fiabilitate dată ; poziţia filtrului în raport cu sursele de contaminare. Aceşti factori determină cantitatea de contaminant ce trebuie reţinută de filtru pentru a se atinge concentraţia dorită. Toate acestea se referă la domeniul „x" de mărime a contaminantului.

Nivelul de contaminare a lichidului din rezervor este numărul total de particule în domeniul x (de exemplu $<10\mu m$), la un moment dat. Viteza de contaminare este numărul combinat de particule apor-

Scanned with OKEN Scanner

tate în instalaţie de fluid sau generate de aceasta însăşi. Amplasarea filtrelor într-o instalaţie poate fi făcută ca în fig. 12.7, astfel :

a — pe conducta de aspiraţie a pompei ;

b — pe conducta de refulare a pompei, sau filtru de presiune ;

c — pe conducta de refulare a instalaţiei spre rezervor ;

d — pe o linie/conductă de tip „bypass", între instalaţie şi rezervor.

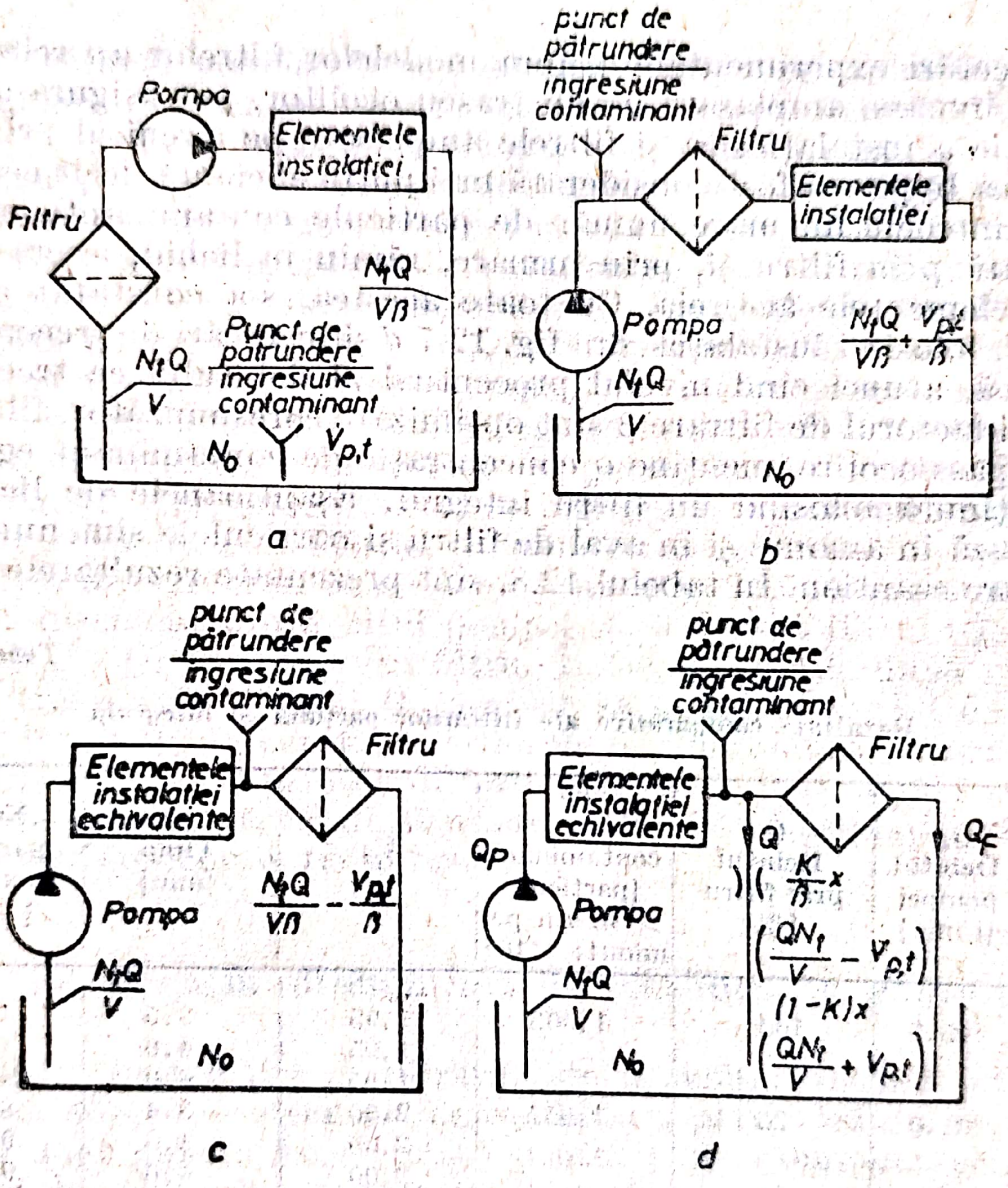


Fig. 12.7. Scheme ale modelelor de calcul.

Modul de amplasare a filtrului poate necesita specificaţii diferite, deoarece parametrii sistemului, ca : debitul pompei, Q_P, [m³/s, l/min) ; volumul rezervorului, V[m³, l] ; nivelul de contaminare a rezervo-

Scanned with OKEN Scanner

rului, N [—/m³, — /l]; viteza de pătrundere a contaminantului, v_P[—/s ; —/min] și debitul în instalație, Q, pot să se modifice în funcție de locația filtrului. Toți acești factori contribuie la determinarea factorului de filtrare β_x.

12.3.3. Filtrarea integrală și filtrarea bypass/parțială

Cercetări experimentale asupra modelelor filtrelor au relevat că filtrele bypass, amplasate pe un traseu ocolitor, pot asigura aceeași protecție a instalației ca și filtrele amplasate pe circuitul principal. Filtrarea bypass a fost considerată mai puțin eficientă decît cea integrală, întrucît un mare număr de particule contaminante nu trec niciodată prin filtru și, prin urmare, rămîn în lichid, ancrasînd și uzînd elementele acesteia. Cu toate acestea, s-a constatat experimental, folosind instalația din fig. 12.7 *d* și încercări de trecere multiplă, că, atunci cînd nivelul procentual al debitului ce trece prin filtru și factorul de filtrare β sînt optimizate corespunzător, filtrul de tip bypass/ocolire menține o concentrație de contaminant egală cu cea obținută folosind un filtru integral. Eșantioanele de lichid se colectează în amonte și în aval de filtru și particulele sînt numărate în fiecare eșantion. În tabelul 12.8, sînt prezentate rezultatele încer-

Tabelul 12.8

Rezultate comparative ale filtrărilor parțială și integrală

Nr. încercării	Q_P Debitul pompei [l/min]	Q Debitul prin filtru [%]	v_P Viteza de contaminare [particule > 10 μm pe minut] $\times 10^8$	β_{10} [—]	Timp [min]	Nr. de particule în amonte [—/ml]
1	45,5	100	1,063	1,95	3,5	4.684
				1,95	4,6	4.739
				1,95	6,0	4.756
2	91,0	25	1,057	2,00	5,4	8.702
				2,00	6,0	9.019
				2,00	6,6	9.095
				2,00	7,2	9.147
3	91,0	50	1,089	2,60	4,1	3.876
				2,60	5,3	3.883
				2,60	6,2	3.885
				2,60	7,0	3.885

Scanned with OKEN Scanner

cărilor [10, 65]. Rezultatele măsurătorilor arată că filtrarea parțială/bypass este capabilă să mențină nivele scăzute de contaminare și asigură o bună durabilitate sistemului. În plus, întrucît filtrul bypass este traversat de un procent <100 din debitul principal ($Q_F < Q_P$) și la o presiune mai scăzută, acesta este mai mic și mai ieftin.

12.3.4. Modelul matematic al echilibrului contaminării

În funcție de poziția filtrului într-o instalație, pe aspirația pompei, pe refularea pompei, pe returul instalației sau pe o conductă de bypass, se stabilesc modele matematice diferite.

Filtrul pe aspirație reține particulele înainte ca acestea să pătrundă în pompă. Întrucît rezervorul colectează toate particulele generate de instalație și cele pătrunse din exterior, se poate considera că acesta este punctul de ingresiune/pătrundere în instalație (v. fig. 12. 7, *a*).

Filtrul de presiune (fig. 12.7, *b*) reține contaminantul, atît între pompă și celelalte elemente componente ale instalației, sau între oricare alte elemente. Punctul de ingresiune poate fi atît între pompă și filtru, cît și la rezervor. Similar se petrec lucrările și cu filtrul de retur (fig. 12.7, *c*), unde punctul de ingresiune a particulelor poate fi, ori între elementele instalației și filtru, ori în rezervor.

Filtrul din circuitul de ocolire/bypass (fig. 12.7, *d*), permite ca un procent însemnat din debitul pompei să ocolească filtrul (Q), restul ($Q_F = Q_P - Q$) trecînd prin filtru. În acest circuit, după cum s-a văzut, trece doar debitul Q_F necesar să mențină nivelul de contaminare la o valoare cerută de criteriile de durabilitate a elementelor instalației. La acest mod de filtrare, punctul de ingresiune a particulelor este considerat, fie după ultimul element al instalației, dar înaintea liniei de ocolire, fie în rezervor.

12.3.5. Ecuația diferențială de echilibru a contaminării

Modelul matematic al filtrării este dezvoltat alegînd un punct în sistem și scriind o ecuație de echilibru a particulelor care intră și ies din acel punct. Acest punct poate fi, de exemplu, rezervorul. Ecuația de echilibru a numărului de particule în rezervor la un moment t este următoarea:

$$N_T = N_0 + \frac{N_t Q_P t}{V \cdot \beta} + v_{P,t}\, t - \frac{N_t\, Q_P\, t}{V}, \qquad (12.4.)$$

Scanned with OKEN Scanner

unde : N_T este numărul de particule într-un domeniu x de mărime a particulelor ;

N_0 — numărul de particule aflate inițial în rezervor ;

N_t — numărul de particule în rezervor la un moment dat ;

Q_P — debitul pompei, [l/min] ; [m³/s] ;

V — volumul rezervorului [l] ; [m³] ;

β — factorul de filtrare [—] ;

$v_{p,t}$ — viteza de pătrundere a particulelor în instalație [—/min] ; [—/s] ;

t — timpul [min] ; [s].

Termenii au următoarele semnificații : $N_t Q_P t/V\beta$ reprezintă numărul de particule ce intră în rezervor prin conducta de retur ; $v_{p,t}\ t$ — numărul de particule care pătrund în instalație din exterior și prin uzură ; $N_t Q_P t/V$ — numărul de particule aspirate de pompă.

Întrucît termenii depind de numărul de particule contaminante prezente în instalație în orice moment, intervalul de timp considerat trebuie să fie cît mai mic pentru ca să se poată aproxima relația exactă a variației numărului de particule în timp. De aceea, ecuația (12.4) devine :

$$N_{t+1} = N_t + \frac{N_t Q_P \Delta t}{V\beta} + v_{p,t} \cdot \Delta t - \frac{N_t Q_P \Delta t}{V}, \qquad (12.5)$$

unde Δt este un increment mic de timp, în care este cercetat numărul de particule. Cu cît Δt este mai mic, cu atît rezultatele sînt mai precise. Dacă Δt tinde spre zero, Δt devine dt, iar ecuația (12.5) se scrie :

$$\frac{N_{t+1} - N_t}{dt} = \frac{N_t Q_P}{V\beta} + v_{p,t} - \frac{N_t Q_P}{V}. \qquad (12.6)$$

12.3.6. Soluția ecuației pentru filtrarea pe aspirația pompei

Ecuația (12.5) este într-o formă convenabilă calculului pe calculator. Pentru calculul pe calculator, se poate scrie un program care să înceapă la $t = 0$ și să calculeze numărul de particule din rezervor pentru un increment de timp Δt dat, un debit Q_P, un volum al rezervorului V, un factor β și o viteză de pătrundere date. La $t = 0$, $v_p = 0$ și $Q_P = 0$; așadar $N_t = N_0$. Apoi, folosind $N_t = N_0$ la $t = 0$, se calculează N_t la $t = t_1$ și așa mai departe, pînă se ajunge la timpul

Scanned with OKEN Scanner

care interesează, cînd N_t egalează numărul de particule din rezervor pentru un domeniu dat de mărime N_T.

Ecuaţia (12.6) este scrisă în formă diferenţială. Soluția matematică este :

$$N_T = N_0 \exp\left(-\frac{EQ_P t}{V}\right) + \frac{v_{p,t} V}{EQ_P}\left[1 - \exp\left(-\frac{EQ_P t}{V}\right)\right] \quad (12.7)$$

unde : $E = 1 - 1/\beta$ este *eficiența filtrării*.
Înlocuind cu parametrii sistemului, se determină numărul de particule din rezervor, la orice moment t.

12.3.7. Ecuația diferențială de echilibru și soluția pentru filtrarea integrală

Modelul matematic pentru cele două sisteme este identic. Avînd în vedere şi notaţiile din fig, 12.7, *b* şi *c*, se scrie astfel :

$$N_T = N_0 + \left(\frac{N_t Q_P}{V\beta} + \frac{v_{p,t}}{\beta}\right) t - \frac{N_t Q_P}{V} t \quad (12.8)$$

sau, procedînd similar, pentru $t \to \Delta t$, se scrie ecuaţia (12.8) în forma incrementală :

$$N_{t+1} = N_t + \left(\frac{N_t Q_P}{V\beta} + \frac{v_{p,t}}{\beta}\right) \Delta t - \frac{N_t Q_P}{V} \Delta t. \quad (12.9)$$

Cum $\Delta t \to dt$, pentru valori foarte mici, se obţine ecuaţia diferenţială de echilibru sub forma :

$$\frac{N_{t+1} - N_t}{dt} = \left(\frac{N_t Q_P}{V} + v_{p,t}\right)\frac{1}{\beta} - \frac{N_t Q_P}{V} \quad (12.10)$$

Soluţia ecuaţiei diferenţiale (12.10) are expresia :

$$N_T = N_0 \exp\left(-\frac{Q_P K E}{V} t\right) + \frac{(v_{p,t} - K v_{p,t} E)}{Q_P K E}\left[1 - \exp\left(-\frac{Q_P K E}{V} t\right)\right], \quad (12.11)$$

unde $K < 1$ este proporţia din debitul pompei ce trece prin filtru (întrucît o parte se poate expulza prin supapa de limitare normal deschisă direct spre rezervor). Ecuaţia (12.11) se află reprezentată în nomograma din fig. 12.7 şi 12.8. Aceasta permite determinarea rapidă, pen-

Scanned with OKEN Scanner

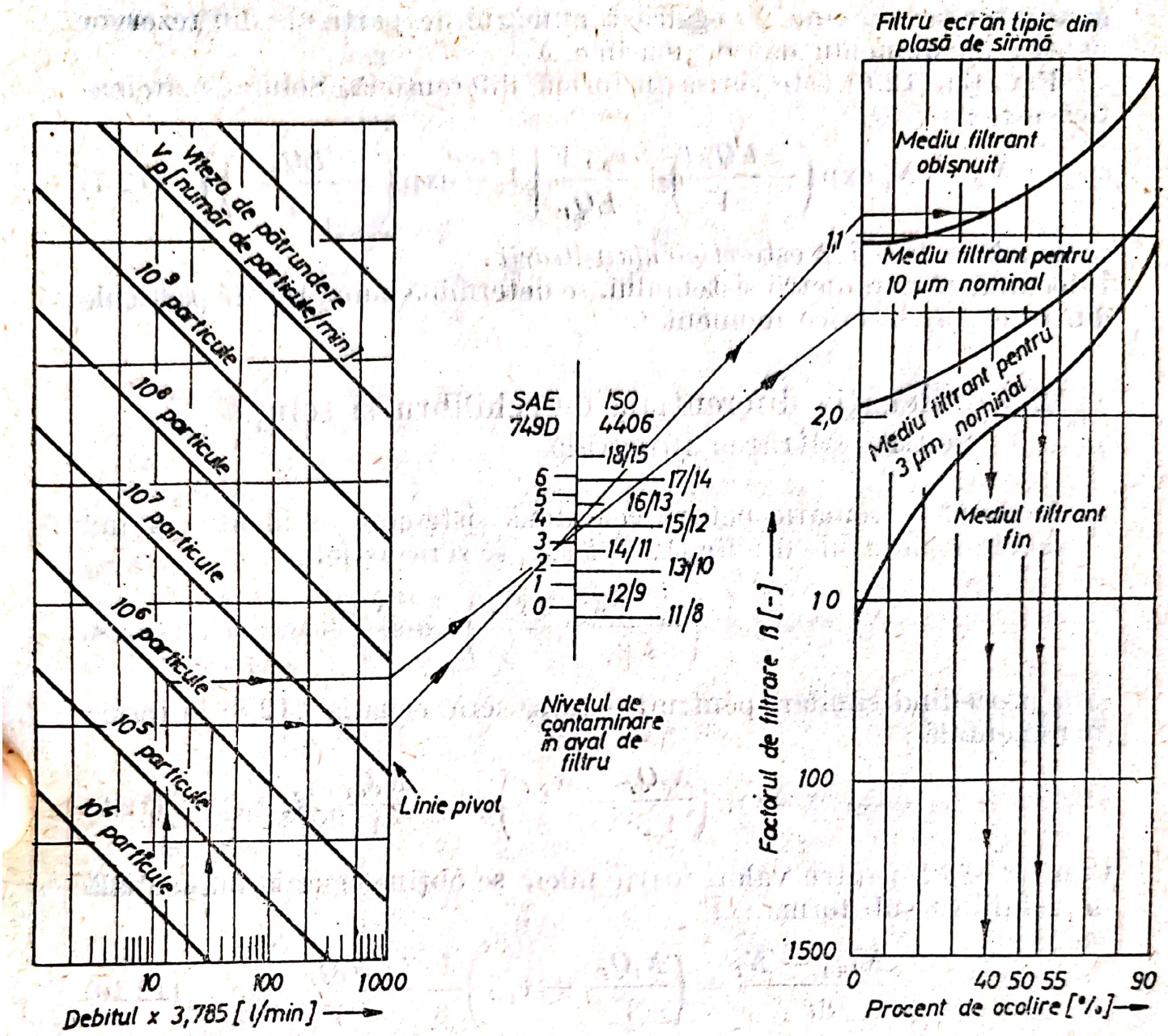


Fig. 12.8. Nonomogramă și exemple de selectare a filtrului.

tru mediile filtrante ale firmei Parker Hannifin, a factorului de filtrare β și a procentului de ocolire, cînd se cunosc Q_P, v_p, K, V și nivelul de contaminare admisibil, exprimat conform cu standardul ISO (de exemplu).

Nivelul de contaminare se stabilește la rîndul său, dacă se cunosc clasa de puritate a lichidului și domeniul maxim de mărime a particulelor, folosind nomograma din fig. 12.9, b.

Scanned with OKEN Scanner

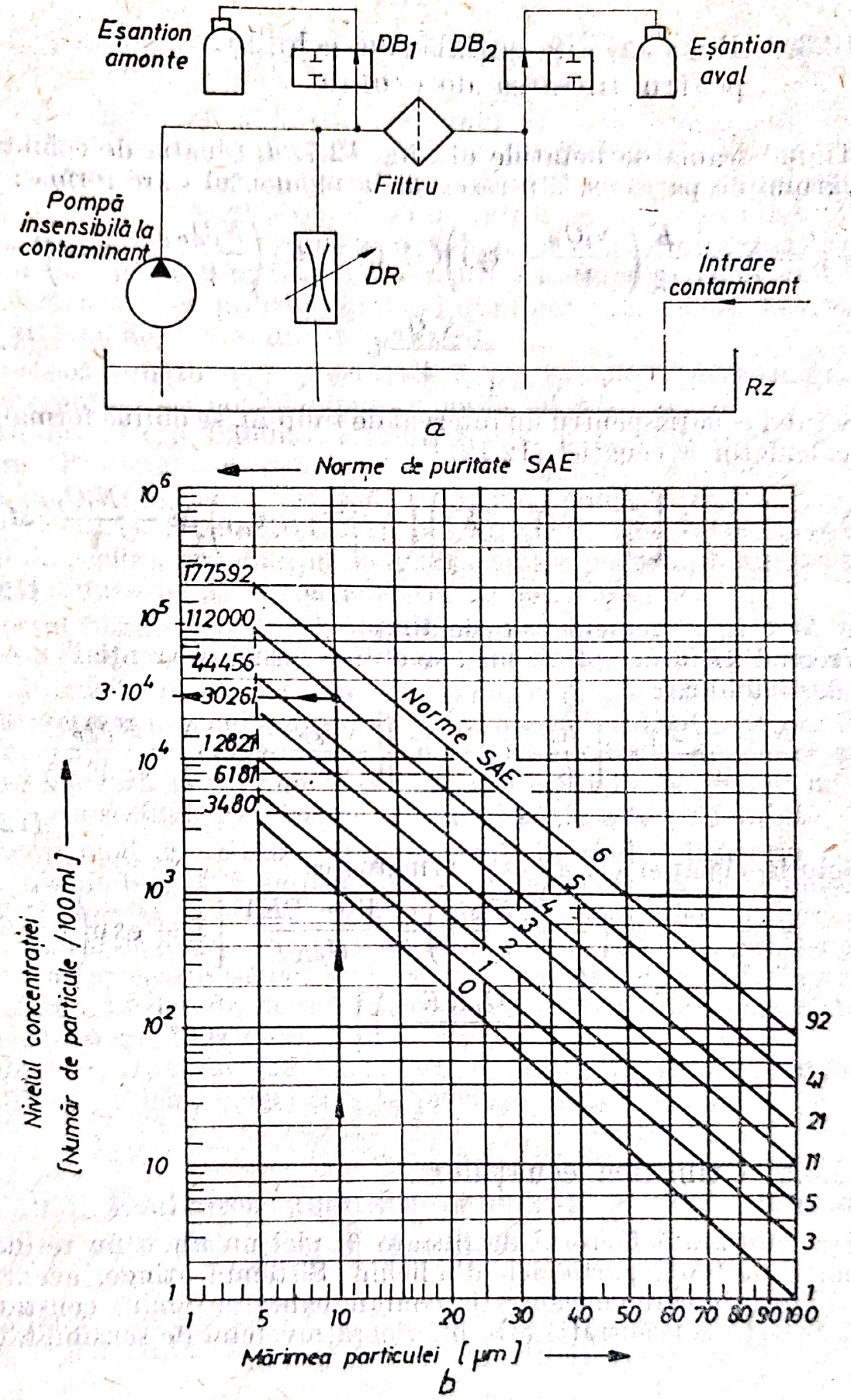


Fig. 12,9. Schema instalație de testare (*a*) și nomogramă de corelație (*b*).

Scanned with OKEN Scanner

12.3.8. Ecuația diferențială de echilibru pentru filtrarea de ocolire

Ținînd seama de notațiile din fig. 12.7, *d*, ecuația de echilibru a numărului de particule din rezervor la momentul t are forma :

$$N_T = N_0 + \frac{K}{\beta}\left(\frac{N_t Q_P}{V} + v_{p,t}\right)t + (1-K)\left(\frac{N_t Q_P}{V} + v_{,pt}\right)t - \frac{N_t Q_P}{V}t. \tag{12.12}$$

Scriind ecuația pentru un interval de timp Δt, se obține forma pentru calculator a ecuației (12.12) :

$$N_{t+1} = N_t + \left[\frac{K}{\beta} + (1-K)\right]\left(\frac{(N_t Q_P}{V} + v_{p,t}\right)\Delta t - \frac{N_t Q_P}{V}\Delta t, \tag{12.13}$$

unde Δt este increment mic de timp.

Trecînd Δt în dt, infinit mic, se obține forma diferențială a ecuației de echilibru :

$$\frac{N_{t+1} - N_t}{dt} = \left[\frac{K}{\beta} + (1-K)\right]\left(\frac{N_t Q_P}{V} + v_{p,t}\right) - \frac{N_t Q_P}{V}, \tag{12.14}$$

Soluția ecuației (12.4) este următoarea :

$$N_T = N_0 \exp\left(-\frac{Q_P KE}{V}t\right) + \frac{V - EKV}{Q_P KE}\left[1 - \exp\left(-\frac{Q_P KE}{V}t\right)\right] \tag{12.15}$$

12.3.9. Utilizarea ecuațiilor

Așa cum arată factorul de filtrare β, nici un filtru nu reține în proporție de 100% particulele din lichid. Sistemul atinge, eventual, un echilibru în care concentrația contaminantului rămîne constantă. Dacă această concentrație este inferioară nivelului de sensibilitate a

Scanned with OKEN Scanner

celui mai sensibil element, durabilitatea instalației este corespunzătoare.

Concentrația tolerabilă de contaminant este specificată, uzual în funcție de clasa de puritate a lichidului. Normele SAE au șapte, clase, de la 0 la 6, cea mai restrictivă fiind clasa 0, așa cum rezultă din fig. 12.9 *b*. În acest scop, anterior etapei de alegere a unui filtru, se precizează clasa de puritate a lichidului și mărimea maximă a particulelor, pe baza rezistenței la uzură și la gripaj a celui mai sensibil element. Apoi, utilizînd graficul din figura 12.9, *b*, se determină concentrțaia de contaminant în lichid.

În etapa următoare, se precizează V, Q_P, v_P și, apoi, utilizînd ecuațiile prezentate, se pot manipula valorile lui β și locația filtrului în scopul optimizării fiabilității instalației și a costului operației de filtrare. Procedura constă în a calcula factorul β_x, pentru diferitele amplasări ale filtrului, utilizînd, corespunzător, relațiile (12.5) și (12.7), (12.9) și (12.11), (12.13) și (12.15). În plus, pentru filtrul de ocolire, procentajul de debit ocolitor poate fi diminuat pentru a optimiza pe β_x și concentrația de contaminant.

Costul filtrului crește, în general, cu creșterea mărimii sale și cu creșterea factorului β_x pe care îl realizează, dar mai mult cu mărimea. Întrucît filtrele pe aspirația pompei și pe refularea pompei sînt traversate de lichid, de debit și/sau presiuni ridicate, aceste filtre sînt mai mari și mai scumpe. Filtrele de pe conducta de retur și de ocolire lucrează la presiune scăzută, ultimul și la debit mai mic, și sînt, în consecință, mai ieftine. Ultima soluție este preferabilă.

Acest mod de abordare impune, însă, în mod obligatoriu ca filtrele disponibile a fi implementate în instalații să fie cunoscute, adică trebuie să se atașeze fiecărui filtru în parte, de către producător, factorul de filtrare β_x. În acest scop, trebuie dezvoltat un program special de cercetare tehnologică. Se vor crea, astfel, condițiile pentru închiderea buclei de factori necesari selectării corespunzătoare a filtrelor pentru IAH/IRU.

Pe baza ecuațiilor (12.4) ... (12.15), poate fi dezvoltat un model complet de calcul, model care se prezintă în cap. 12.4.

12.4. Evaluarea analitică complexă a performanțelor filtrării dintr-o instalație

Metoda din capitolul 12.2 se bazează pe cunoașterea nomogramizată a performanțelor unor filtre date, situație care nu corespunde,

Scanned with OKEN Scanner

în momentul de față, cu stadiul de cunoaștere și cercetare a filtrelor românești. De aceea, vom prezenta, în cele ce urmează, o metodă analitică de calcul a filtrelor unei instalații date, precum și a stării pe contaminare în regim de filtrare atunci cînd instalația este înzestrată cu un sistem de filtrare dat. La baza modelelor matematice utilizate stau dezvoltările teoretice prezentate principial în capitolul 12.3.

În faza inițială de proiectare a filtrării unei instalații, trebuie să se răspundă la următoarele întrebări :

— care este nivelul de filtrare dorit ?

— care este cel mai bun amplasament a filtrului/filtrelor ?

În cele ce urmează se vor da răspunsuri acestor întrebări și totodată o metodă /un algoritm de calcul rapid al principalelor două performanțe care se calculează și descriu starea acceptabilă și realizată de instalație. Acestea sînt *concentrația staționară a contaminantului din rezervor* și *durata regimului tranzitoriu necesar pentru atingerea unei stări staționare date*, notate cu P_{ss} (part/l), respectiv cu T_{ss}(s). În egală măsură este posibil să se găsească un algoritm și pentru durata de funcționare a filtrului. Cu aceste trei mărimi, proiectantul este capabil să preconizeze, nu doar condițiile staționare, dar și numărul de elemente filtrante necesare pentru a curăța un sistem dat.

În continuare, vor fi analizate cîteva dintre aspectele metodologice și de calcul.

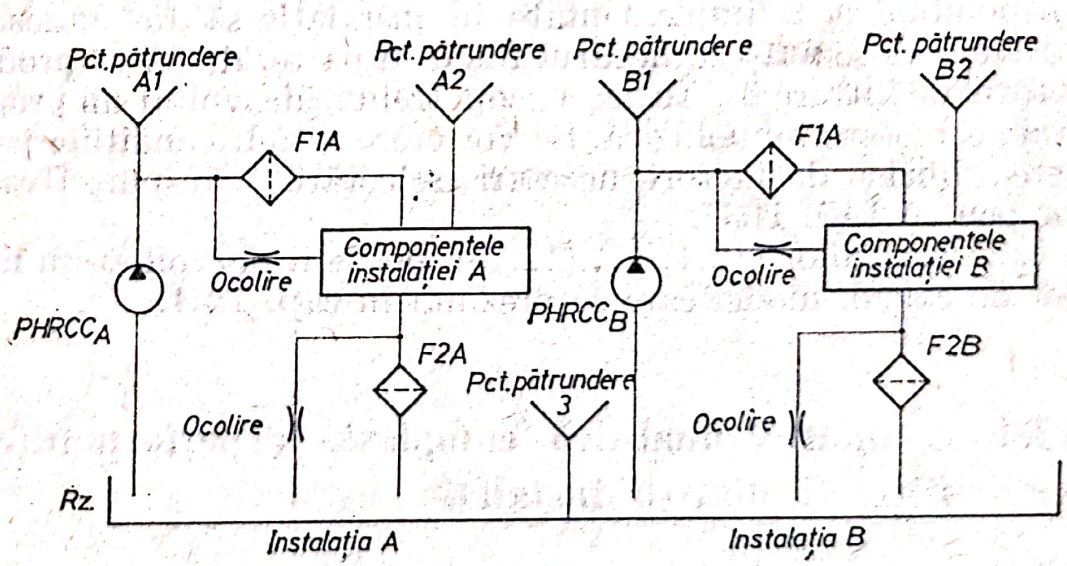


Fig. 12.10. Circuit dual de simulare a unei instalații hidraulice.

Scanned with OKEN Scanner

12.4.1. Schemele modelului de calcul

Circuitul dual din fig. 12.10 poate fi folosit pentru a simula aproape orice sistem hidraulic. În el pot fi alese mai multe modalităţi de pătrundere a particulelor contaminante şi poate fi evaluat efectul amplasării filtrului în instalaţie. Poate fi evaluată, totodată, relaţia dintre debitul din fiecare circuit, eficienţa filtrării filtrelor şi nivelul debitelor de ocolire a filtrelor.

În plus, posibilităţile oferite de circuitul dual permit să se ia în consideraţie circuitele auxiliare de răcire, care, şi ele, generează şi reţin particule contaminante.

Pe baza celor arătate, proiectantul va putea utiliza pentru calcul, fie un calculator (programabil) de buzunar, ca în exemplul prezentat, fie va putea transforma programul în unul scris într-unul din limbajele uzuale FORTRAN, BASIC. Prin iteraţii succesive, pot fi determinaţi, pe lîngă P_{ss} şi T_{ss}, impactul diferitelor modificări de parametri funcţionali sau de structură asupra performanţelor arătate. În capitolul 12.4.8, se vor prezenta listingurile programelor în cele două limbaje elaborate pe baza algoritmului preconizat.

12.3.4. Punctele de pătrundere a contaminanţilor

Punctele prin care contaminantul intră în sistem şi cantitatea aportată au un efect decisiv asupra nivelului staţionar de contaminare a lichidului din instalaţie. Cercetările experimentale [28, 33, 64, 65] au arătat care sînt vitezele de contaminare ce caracterizează diferite medii ambiante şi cantitatea de contaminant generată prin uzură de diferite elemente, componente ale instalaţiei. În tabelele 12.7 şi 12.3, se prezintă aceste liste, relativ complete, de valori. Valorile respective sînt însă aproximative şi orientative. Valoarea exactă a vitezei de pătrundere poate fi stabilită prin similitudine cu un sistem similar existent. Aceasta se realizează prin modificarea vitezei de pătrundere, pînă ce rezultatele calculate teoretic sînt în concordanţă cu rezultatele măsurătorilor realizate cu numărătorul de particule pe eşantioane luate din sistemul în stare staţionară.

12.4.3. Factorul de filtrare şi eficienţa

Atît factorul de filtre β_x, cît şi eficienţa filtrării E_x, sînt specificate şi se calculează în conjuncţie cu o anumită mărime x a particulelor

Scanned with OKEN Scanner

(uzual 10 μm) și toate particulele mai mari decît mărimea respectivă. Valorile și corelațiile dintre β și E sînt prezentate în tabelul 12.4,*a*

Proiectantul instalației poate evalua analitic efectul diferitelor nivele/grade de filtrare asupra nivelului global de contaminare. Corespunzător, se poate face și un studiu tehnico-economic, din care să rezulte dacă este sau nu necesară filtrarea ultrafină într-o aplicație dată.

12.4.4. Nivelul de curățenie a lichidului

Se folosesc mai multe metode pentru a specifica nivelul de curățenie a mediului lichid dintr-o instalație. În tabelul 12.2 se arată cinci standarde mai uzuale. Proiectantul instalației solicită adesea realizarea unui anumit nivel de curățenie bazat pe analiza sensibilității la contaminare a elementelor instalației și trebuie să selecteze/proiecteze filtrarea care să producă și să mențină acest nivel. Producătorii de echipamente specifică, în prospectele produselor, nivelele de curățenie a lichidului, acceptate în funcționare. Tabelul 12.1 arată valori uzuale ale unor elemente componente tipice ale instalațiilor.

Proiectantul instalației/sistemului de filtrare trebuie să compare nivelul efectiv al regimului staționar al contaminării lichidului din rezervor cu nivelul impus prin clasa de curățenie necesară celui mai sensibil element.

12.4.5. Ipotezele metodei de calcul

În metodica de calcul, care va fi prezentată în continuare, se fac următoarele ipoteze :

a. Nivelul de curățenie/contaminare a lichidului din insatalație este reprezentat de starea staționară de curățenie/contaminare a lichidului din rezervor.

b. Factorul beta/eficiența filtrării nu se modifică pe măsură ce filtrul colectează contaminant.

c. Toate particulele mai mici decît mărimea pentru care s-a specificat factorul beta nu sînt colectate de elementul filtrant.

d. Forma și mărimea rezervorului, precum și debitul din instalație, sînt astfel încît contaminantul nu se depune în rezervor.

e. Contaminantul care pătrunde în rezervor este uniform dispersat în masa de fluid.

Scanned with OKEN Scanner

12.4.6. Descrierea notațiilor folosite

Calculele privitoare la performanțele realizate cu un sistem de filtrare dat și atașat instalației au incorporate următoarele mărimi * (v. fig. 12.11).

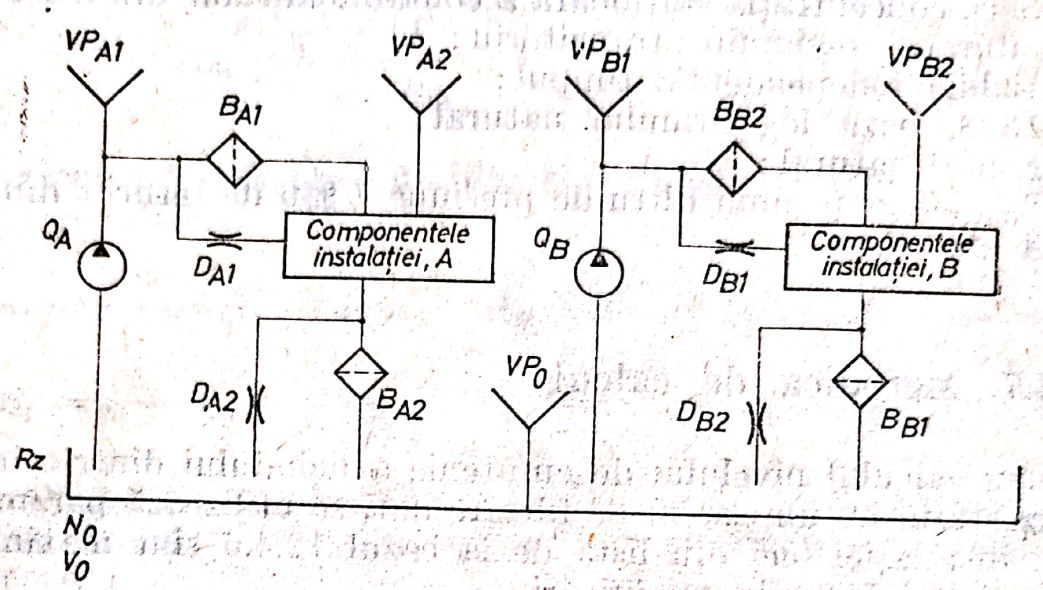


Fig. 12.11. Circuitele A și B și notațiile folosite în calculele analitice.

$Q_{A,B}$ [l/min], debitul circuitului A sau B;

$VP_{A,B1}$ [part/min], viteza de pătrundere a particulelor în lichidul din ciruitul A sau B datorită uzurii pompei;

$VP_{A,B2}$ [part/min], viteza de pătrundere a particulelor în lichidul din circuitul A sau B datorită uzurii restului componentelor;

$B_{A,B1}$ [—], factorul beta al filtrului de presiune din circuitul A sau B;

$B_{A,B2}$ [—], factorul beta al filtrului de retur din circuitul A sau B,

$D_{A,B1}$ [%, —], procentul din debit care ocolește filtrul de presiune din circuitul A sau B;

$D_{A,B2}$ [% —], procentul din debit care ocolește filtrul de retur din circuitul A sau B;

V_0[l], volumul rezervorului;

N_0 [part/l], nivelul inițial de contaminare a lichidului din rezervor;

VP_0 [part/min], viteza de pătrundere a particulelor în lichidul din rezervor;

---

* N. A. În programele scrise în FORTRAN și BASIC, toate notațiile de tip cu indice vor apărea în aceeași linie, iar literele mici vor fi scrise cu majuscule.

Scanned with OKEN Scanner

$F(VP)$ [part/l], concentrația contaminantului din rezervor datorită vitezei de pătrundere a contaminantului, respectiv lui $VP_{A,B1}$ și $VP_{A,B2}$;
P_T[part/min], concentrația totală a contaminantului din rezervor după t minute;
P_{ss} [part/l], concentrația staționară a contaminantului din rezervor;
T_{ss}[s], durata regimului tranzitoriu;
t[s], variabila independentă, timpul;
$e = 2{,}81828$, baza logaritmului natural;
ln, logaritmul natural;
$E_{A,B1,2}$[%], eficiența unui filtru de presiune *1* sau de retur *2* din circuitul *A* sau *B*.

12.4.7. Metodica de calcul

Pentru calculul nivelului de curățenie a lichidului dintr-o instalație înzestrată cu un sistem de filtrare dat, se utilizează parametrii reali ai instalației (cei din lista de la cazul 12.4.6 sînt maximali), precum și următoarele modificări:

- se introduce pentru β valoarea 1 (notat în fig. 12.11 și în programele elaborate cu *B*) dacă dorim să eliminăm un filtru;
- se introduce un procentaj de bypass/ocolire cu valoarea 0,0 dacă dorim să eliminăm prezența unei linii de bypass/ocolire;
- se introduce valoarea 0,0 pentru orice alt parametru care nu este prezent în sistemul hidraulic real.

Datele de intrare în algoritmul de calcul sînt următoarele:

- B_{A1}, B_{A2}, B_{B1}, B_{B2}, factorii de filtrare ai filtrelor implementate/(specificate pentru implementare) în instalația dual;
- D_{A1}, D_{A2}, D_{B1}, D_{B2}, procentele de debit de ocolire a filtrelor;
- Q_A, Q_B, debitele pompelor din circuitul dual;
- V_0, volumul rezervorului;
- N_0, nivelul inițial de contaminare a rezervorului;
- VP_{A1}, VP_{A2}, VP_{B1}, VP_{B2}, VP_0, vitezele de pătrundere a contaminantului în instalație prin punctele corespunzătoare.

Datele finale de ieșire din algorimtul de calcul sînt următoarele:

- P_T, concentrația de contaminant din rezervor după t minute de funcționare;
- P_{SS}, concentrația staționară de contaminant din rezervor;
- T_{SS}, durata regimului tranzitoriu.

Scanned with OKEN Scanner

Etapele de calcul sînt următoarele :

1. Se calculează eficienţele de filtrare ale celor patru filtre :

$$E_{A1} = 1 - \frac{1}{B_{A1}}; \quad E_{A2} = 1 - \frac{1}{B_{A2}} \tag{12.16}$$

$$E_{B1} = 1 - \frac{1}{B_{B1}}; \quad E_{B2} = 1 - \frac{1}{B_{B2}} \tag{12.17}$$

2. Se calculează eficienţele de filtrare a filtrelor în prezenţa conductelor de ocolire :

$$A_1 = 1 - E_{A1}(1 - D_{A1}); \quad A_2 = 1 - E_{A2}(1 - D_{A2}) \tag{12.18}$$

$$B_1 = 1 - E_{B1}(1 - D_{B1}); \quad B_2 = 1 - E_{B2}(1 - D_{B2}) \tag{12.19}$$

3. Se calculează efectul cumulativ al filtrelor asupra instalaţiilor, ţinînd seama de debitele pompelor şi de volumul de lichid din rezervor :

$$F_A = \frac{Q_A}{V_0}(A_1 \cdot A_2 - 1); \tag{12.20}$$

$$F_B = \frac{Q_B}{V_0}(B_1 \cdot B_2 - 1). \tag{12.21}$$

4. Se calculează efectul cumulativ al filtrării întregii cantităţi de lichid din instalaţie de către ambele instalaţii ale circuitului dual, exprimat temporal :

$$C_{AB} = F_A + F_B = \frac{Q_A}{V_0}(A_1A_2 - 1) + \frac{Q_B}{V_0}(B_1B_2 - 1). \tag{12.22}$$

5. Se calculează efectul cumulativ al filtrelor asupra circuitului dual :

$$C_E = 1 - e^{C_{AB} \cdot t} = 1 - e^{(F_A + F_B)t}. \tag{12.23}$$

Scanned with OKEN Scanner

6. Se calculează concentrația de decontaminant din rezervor datorată nivelului inițial de contaminare a lichidului din rezervor :

$$F(N_0) = N_0 \, e^{C_{AB} t}. \tag{12.24}$$

7. Se calculează contribuția la scăderea concentrației de contaminant din rezervor datorată pătrunderii de particule contaminante direct în rezervor :

$$F(VP_0) = \frac{VP_0}{-C_{AB} \cdot V_0} C_E. \tag{12.25}$$

8. Se calculează contribuțiile la concentrația de contaminant din rezervor datorate pătrunderii de particule prin cele două puncte de pătrundere ale fiecărei instalații :

$$F(VP_{A1}) = \frac{VP_{A1} \; A_1 A_2}{-C_{AB} \cdot V_0} C_E \tag{12.26}$$

$$F(VP_{A2}) = \frac{VP_{A2} A_2}{-C_{AB} V_0} C_E \tag{12.27}$$

$$F(VP_{B1}) = \frac{VP_{B1} \; B_1 B_2}{-C_{AB} \; V_0} C_E \tag{12.28}$$

$$F(VP_{B2}) = \frac{VP_{B2} B_2}{-C_{AB} V_0} C_E \tag{12.29}$$

9. Se calculează P_T (etapă imposibilă la prima iterație) :

$$P_T = F(N_0) + F(VP_0) + F(VP_{A1}) \times F(VP_{A2}) + F(VP_{B1}) + \\ + F(VP_{B2}) \tag{12.30}$$

10. Se calculează P_{SS}

$$P_{SS} = \frac{VP_0 + VP_{A1} A_1 \cdot A_2 + VP_{A2} \cdot A_2 + VP_{B1} \cdot B_1 B_2 + VP_{B2} \cdot B_2}{-C_{AB} \cdot V_0} \tag{12.31}$$

Scanned with OKEN Scanner

11. Se calculează T_{ss} :

$$T_{ss} = \ln\left(\frac{0{,}5}{(N_0 + P_{ss})V_0}\right)/C_{AB}. \qquad (12.32)$$

12.4.8. Exemplu de calcul

Folosim datele numerice de intrare din fig. 12.12. Cu aceste date, se obţin succesiv următoarele valori calculate cu un calculator de buzunar simplu, folosind relaţiile (12.16) . . . (12.32).

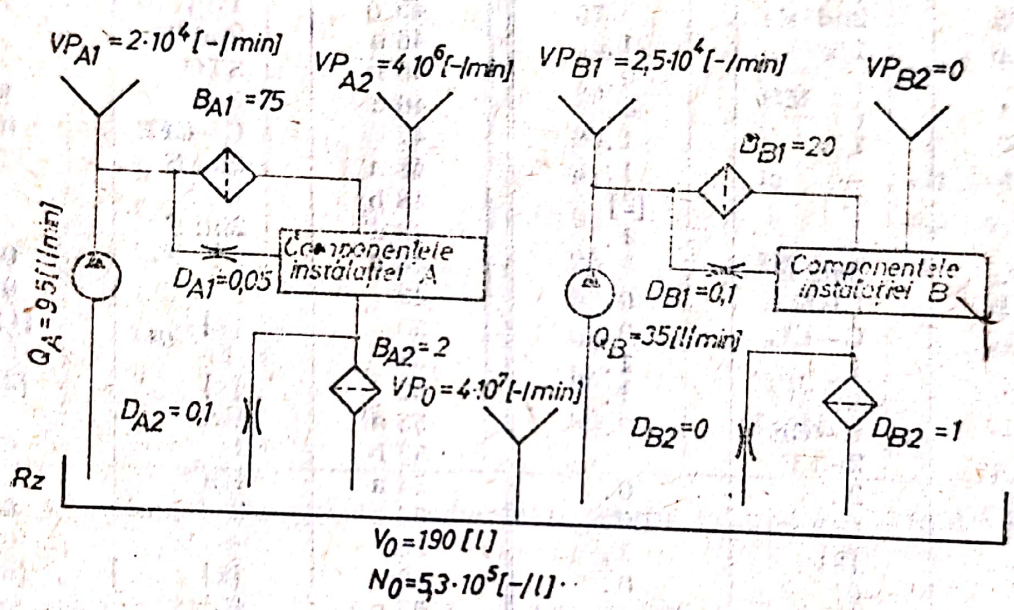


Fig. 12.12. Circuitul dual A şi B. Exemplu de calcul.

- $E_{A1} = 0{,}997$; $E_{A2} = 50$; $E_{B1} = 0{,}95$; $E_{B2} = 0$
- $A_1 = 0{,}063$; $A_2 = 0{,}55$; $B_1 = 0{,}145$; $B_2 = 1{,}0$
- $F_A = -0{,}483$; $F_B = -0{,}157$; $C_{AB} = 0{,}642$
- $P_{ss} = 3{,}47 \cdot 10^5$ [part/l]
- $T_{ss} = 30{,}7$ [min].

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 12.13, a I

Pasul Nr.	Tasta	Afișajul	Pasul Nr.	Tasta	Afișajul
1	C—CE	0.	38	)	—2.
2 a	2nd F		39	÷	—2.
2 b	LRN		40	RM	1.
2 c	1 :	0.	41	=	—2.
3	1	1.	42 a	2nd F	
4	—	1.	42 b	STO	
5	(	0.	42 c	5	—2.
6	1	1.	43 a	2nd F	
7	—	1.	43 b	LRN	0.
8	[x]	1.	44	C—CE	0.
9 a	2nd F		45	1	1.
9 b	1/x	1.	46 a	2nd F	
10	)	0.	46 b	STO	
11	(	0.	46 c	5	1.
12	1	1.	47	C—CE	0.
13	—	1.	48 a	2nd F	
14	[x]	[2]	48 b	LRN	
15	=	1.	48 c	2nd F	
16 a	2nd F		48 d	3 :	0.
16 b	LRN	0.	49	(	0.
17	C—CE	0.	50	[x]	[1]
18	1	1.	51	+	0.
19	x→M	1.	52	[x]	[2]
20	C—CE	0.	53 a	Kn	
21 a	2nd F		53 b	1	0.
21 b	2 :	0.	54 a	Kn	
22	(	0.	54 b	2	0.
23	[x]	1.	55	+	0.
24	(	0.	56	[x]	[3]
25 a	Kn		57 a	Kn	
25 b	1	0.	57 b	2	0.
26 a	Kn		58	+	0.
26 b	2	0.	59	[x]	[4]
27	—	0.	60 a	Kn	
28	1	1.	60 b	3	0.
29	)	—1.	61 a	Kn	
30	T	—1.	61 b	4	0.
31	[x]	[2]	62	+	0.
32	(	0.	63	[x]	5.
33 a	Kn		64 a	Kn	
33 b	3	0.	64 b	4	0.
34 a	Kn		65	)	0.
34 b	4	0.	66	÷	0.
35	—	0.	67 a	Kn	
36	1	1.	67 b	5	1.
37	)	—1.	68	+/—	—1.

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 12.13, a II

Pasul Nr.	Tasta	Afișajul	Pasul Nr.	Tasta	Afișajul
69	÷	0.	80	.	0.
70	RM	1.	81	5	0.5
71	=	0.	82	—	0.5
72 a	2nd F		83	(	0.
72 b	STO		84 a	Kn	
72 c	6	0.	84 b	6	1.
73 a	2nd F		85	+	1.
73 b	LRN	0.	86	[x]	[1]
74	C—CE	0.	87	)	2.
75	1	1.	88	÷	0.25
76 a	2nd F		89	RM	1.
76 b	STO		90	)	0.25
76 c	6	1.	91	ln	—1.386294361
77	C—CE	0.	92	—	—1.386294361
78 a	2nd F		93 a	Kn	
78 b	LRN		93 b	5	1.
78 c	2nd F		94	=	—1.386294361
78 d	4 :	0.	95 a	2nd F	
79	(	0.	96	LRN	0.

Fig. 12.13, *a*. Listingul secvențelor programului pentru calculatorul SHARP EL-512

Modificînd VP_0 de la 4.10^7 la 4.10^6 se obțin :

$$P_{ss} = 5{,}1 \cdot 10^4 \text{ [part/l]}; \quad T_{ss} = 30 \text{ [min]}$$

Calculele se pot efectua cu ajutorul unui program scris pentru un calculator individual, programabil, precum și cu programe simple scrise în oricare limbaj. În figurile 12.13, 12.14, 12.15 și 12.16, se găsesc listingurile programelor scrise pentru :

- calculatorul de buznar SHARP EL—512 (fig. 12.13, *a* și *b*);
- calculatorul de buzunar TI 59 (fig. 12.14 *a* și *b*);
- orice calculator în limbaj FORTRAN (fig. 12.15);
- orice calculator în limbaj BASIC (fig. 12.16).

Scanned with OKEN Scanner

Fig. 12.13, b

Pasul Nr.	Tasta	Afişaj	Pasul Nr.	Tasta	Afişaj
1	C—CE	0.	25 a	2nd F	
2	1 :	[1]	25 b	STO	
3	in. val.*B_{A1}	75.	25 c	4	1.
4	COMP	[2]	26	in. val. V_0	190.
5	in. val.D_{A1}	0.05	27	x →M	190.
6	COMP	0.062666667	28	2 :	[1]
7 a	2nd F		29	in. val. Q_A	95.
7 b	STO		30	COMP	[2]
7 c	1	0.062666667	31	in. val. Q_B	35.
8	COMP	[1]	32	COMP	−0.640266667
9	in.val.B_{A2}	2	33 a	2nd F	
10	COMP	[2]	33 b	3 :	[1]
11	in. val.D_{A2}	0.1	34	in.val.VP_p	40,000,000
12	COMP	0.55	35	COMP	[2]
13 a	2nd F		36	in. val. VP_{A1}	20,000
13 b	STO		37	COMP	[3]
13 c	2	0.55	38	in val. VP_{A2}	4,000,000
14	COMP	[1]	39	COMP	[4]
15	in. val. B_{B1}	20.	40	in.val.VP_{B1}	21,000
16	COMP	[1]	41	COMP	[5]
17	in. val. D_{B1}	0.1	42	in.val.VP_{B2}	0
18	COMP	0.145	43	COMP	346,930,3991 (RECORD P_{SS})
19 a	2nd F				
19 b	STO				
19 c	3	0.145	44 a	2nd F	
20	COMP	[1]	44 b	4 :	[1]
21	in. val. B_{B2}	1.	45	in.val.N_0	530,000
22	COMP	[2]	46	COMP	30.65028242 RECORD T_{SS}
23	in val. D_{B2}	0.			
24	COMP	1.			

* in. val. = introduce valoarea lui . . .

Fig. 12.13, *b*. Listingul secvenţelor de calcul pentru programul pe calculatorul SHARP EL-512.

Scanned with OKEN Scanner

TITLE PROGRAM FILTRARE PAGE 1 OF 02

PROGRAMMER Florin Ionescu DATE 11.04.1985

TI Programmable **Program Record**

Partitioning (Op 17) Library Module Master Printer Cards 04

PROGRAM DESCRIPTION

Programul calculează:

1. PSS, concentrația staționară de contaminant din rezervor [-/litru];
2. TSS, timpul necesar pentru a se ajunge la condiția staționară [minute]

ținînd seama de toți factorii care influiențează aceste mărimi.

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS			DISPLAY
1	Șterge memoria și aduce la zero indexul de program.		2nd	CP		
2	Se introduce modul de instruire		LRN			000 00
3	Se introduce programul FILTRARE					
4	Se iese din modul de instruire		LRN			0
5	Se introduc valorile mărimilor în memoriile 00, 01, 02, 03, 09, -1, 15, 17, 18	Valoare	STO	IJ		Valoare
6	Se calculează A_1	$-DA_1$	2nd	Lbl	A	A_1
7	Se calculează A_2; $A_1 + A_2$; $A_1 \cdot A_2$	$-DA_2$	2nd	Lbl	2nd A'	A_2
8	Se calculează B_1	$-DB_1$	2nd	Lbl	B	B_1
9	Se calculează B_2; $B_1 + B_2$; $B_1 \cdot B_2$	$-DB_2$	2nd	Lbl	2nd B'	B_2
10	Se calculează FA	$1/V_0$	2nd	Lbl	C	FA
11	Se calculează FA și CAB	$1/V_0$	2nd	Lbl	C'	FB
12	Se calculează PSS	$-1/V_0$	2nd	Lbl	D	PSS
13	Se calculează TSS	$2V_0$	2nd	Lbl	E	TSS

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS		LABELS (Op 08)
A Da → A_1	0 $1/BA1$	0 $VPA1$	
B Da → B_1	1 $1/BA2$	1 QA	
C Da → FA	2 $1/BB1$	2 $VPA2$	
D Da → PSS	3 $1/BB2$	3 $VPB1$	
E Da → TSS	4 A_1+A_2	4 $A_1 \cdot A_2$	
A' Da → A_2	5 A_2	5 $VPB2$	
B' Da → B_2	6 B_1+B_2	6 $B_1 \cdot B_2$	
C' Da → FB	7 B_2	7 $VP0$	
D'	8 $CAB=F_A+F_B$	8 $N0$	
E'	9 QB	9	

FLAGS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

© 1977 Texas Instruments Incorporated

1014366-1

a

Fig. 12.14, *a*. Listingul secvențelor programului pentru calculatorul TI-59.

Scanned with OKEN Scanner

TITLE PROGRAM FILTRARE PAGE 2 OF 2

PROGRAMMER Florin Ionescu DATE 11.04.1985

TI Programmable **Coding Form**

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
000	75	2nd Lbl	
001	11	A	
002	85	+	
003	01	1	
004	54	)	
005	65	x	
006	53	(	
007	01	1	
008	75	−	
009	43	RCL	
010	00	00	
011	54	)	
012	94	+/−	
013	85	+	
014	01	1	
015	54	)	
016	42	STO	
017	04	04	
018	42	STO	
019	14	14	
020	91	R/S	
021	75	2nd Lbl	
022	16	2nd A'	
023	85	+	
024	01	1	
025	54	)	
026	65	x	
027	53	(	
028	01	1	
029	75	−	
030	43	RCL	
031	01	01	
032	54	)	
033	94	+/−	
034	85	+	
035	01	1	
036	54	)	
037	44	SUM	
038	04	04	
039	42	STO	
040	05	05	
041	49	2nd PRD	
042	14	14	
043	51	R/S	
044	76	2nd Lbl	
045	12	B	
046	85	+	
047	01	1	
048	54	)	
049	65	x	
050	53	(	
051	01	1	
052	75	−	
053	43	RCL	
054	02	02	
055	54	)	
056	94	+/−	
057	85	+	
058	01	1	
059	54	)	
060	43	STO	
061	06	06	
062	43	STO	
063	16	16	
064	91	R/S	
065	76	2nd Lbl	
066	17	2nd B'	
067	85	+	
068	01	1	
069	54	)	
070	65	x	
071	53	(	
072	01	1	
073	75	−	
074	43	RCL	
075	03	03	
076	54	)	
077	94	+/−	
078	85	+	
079	01	1	
080	54	)	
081	42	STO	
082	07	07	
083	44	SUM	
084	06	06	
085	49	2nd PRD	
086	16	16	
087	91	R/S	
088	76	2nd Lbl	
089	13	C	
090	65	x	
091	43	RCL	
092	11	11	
093	65	x	
094	53	(	
095	43	RCL	
096	14	14	
097	75	−	
098	01	1	
099	54	)	
100	42	STO	
101	08	08	
102	91	R/S	
103	76	2nd Lbl	
104	18	2nd C'	
105	65	x	
106	43	RCL	
107	09	09	
108	65	x	
109	53	(	
110	43	RCL	
111	16	16	
112	75	−	
113	01	1	
114	54	)	
115	44	SUM	
116	08	08	
117	91	R/S	
118	76	2nd Lbl	
119	14	D	
120	65	x	
121	43	RCL	
122	08	08	
123	55	÷	
124	53	(	
125	43	RCL	
126	17	17	
127	85	+	
128	43	RCL	
129	10	10	
130	65	x	
131	43	RCL	
132	14	14	
133	85	+	
134	43	RCL	
135	12	12	
136	65	x	
137	43	RCL	
138	05	05	
139	85	+	
140	43	RCL	
141	13	13	
142	65	x	
143	43	RCL	
144	16	16	
145	85	+	
146	43	RCL	
147	15	15	
148	65	x	
149	43	RCL	
150	07	07	
151	75	=	
152	44	SUM	
153	18	18	
154	91	R/S	
155	76	2nd Lbl	
156	15	E	
157	65	x	
158	43	RCL	
159	18	18	

)	160	54			
1/x	161	35			
ln	162	23			
÷	163	55			
RCL	164	43			
08	165	08			
=	166	95			
R/S	167	91			

MERGED CODES

62 [Pgm] [Adv]
63 [Prd] [Ind]
64 [Sum] [Int]
72 [STO] [Min]
73 [RCL] [Abs]
74 [SUM] [Exc]
83 [GTO] [Dsz]
84 [x≥t] [Nop]
92 [INV] [SBR]

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED

© 1977 Texas Instruments Incorporated

Fig. 12.14, *b*. Listingul secvențelor de calcul pentru programul pe calculatorul TI-59.

Scanned with OKEN Scanner

```
      REAL NO
      FE(X)=1-1/X
      READ(5,100) BA1,BA2,BB1,BB2,DA1,DA2,DB1,DB2,QA,QB,VO,NO,
     *VPA1,VPA2,VPB1,VPB2,VPO
100   FORMAT(17F15.7)
      A1=1-FE(BA1)*(1-DA1)
      A2=1-FE(BA2)*(1-DA2)
      B1=1-FE(BB1)*(1-DB1)
      B2=1-FE(BB2)*(1-DB2)
      FA=QA*(A1*A2-1)/VO
      FB=QB*(B1*B2-1)/VO
      CAB=FA+FB
      PSS=-(VPO+A1*A2*VPA1+A2*VPA2+B1*B2*VPB1+VP2*B2)/(CAB*VO)
      TSS=ALOG(0.5/(NO+PSS)/VO)/CAB
      WRITE(5,201)BA1,BA2,BB1,BB2
201   FORMAT(' BA1= ',E12.5,' BA2= ',E12.5,' BB1= ',E12.5,' BB2=
     *E12.5)
      WRITE(5,202)DA1,DA2,DB1,DB2
202   FORMAT(' DA1= ',E12.5,' DA2= ',E12.5,' DB1= ',E12.5,' DB2= '
     *E12.5)
      WRITE(5,203)QA,QB,VO,NO
203   FORMAT(' QA= ',E12.5,' QB= ',E12.5,' VO= ',E12.5,' NO= ',
     *E12.5)
      WRITE(5,204)VPA1,VPA2,VPB1,VPB2,VPO
204   FORMAT(' VPA1= ',E12.5,' VPA2= ',E12.5,' VPB1= ',E12.5,' VPB2=
     *E12.5,' VPO= ',E12.5)
      WRITE(5,205)PSS,TSS
205   FORMAT(' *** REZULTAT ***   PSS= ',E12.5,'  TSS= ',E12.5)
      STOP
      END
```

```
5.,2.,20.,1.,.05,.1,1.0,.95,.35,190.,5.3E5,2.E4,4.E6,2.5E4,0.,4.E7
A1=  0.75000E+02 BA2=   0.20000E+01 BB1=   0.20000E+02 BB2=   0.10000E+01
A1=  0.50000E-01 DA2=   0.10000E+00 DB1=   0.10000E+00 DB2=   0.00000E+00
A=   0.95000E+02 QB=   0.35000E+02 VO=   0.19000E+03 NO=   0.53000E+06
PA1=   0.20000E+05 VPA2=   0.40000E+07 VPB1=   0.25000E+05 VPB2=   0.00000E+00
** REZULTAT ***   PSS=   0.34693E+06  TSS=   0.30650E+02  VPO=   0.40000E+02
T7  --  STOP
```

Fig. 12.15. Listingul programului în limbaj FORTRAN.

```
2       REM     SE REDEFINESC URMATOARELE VARIABILE
4       REM     BA1=B1; BA2=B2; BB1=B5; BB2=B6
6       REM     DA1=D1; DA2=D2; DB1=D5; DB2=D6
8       REM   VPA1=V1;VPA2=V2;VPB1=V5;VPB2=V6;VP0=V7
10      REM     QA=Q1;   QB=Q2;   FA=F1;   FB=F2;CAB=A9;PSS=P1;TSS=T1
20      DEFFNF(X)=1-1/X
30      INPUT B1,B2,B5,B6
40      INPUT D1,D2,D5,D6
50      INPUT Q1,Q2
60      INPUT V0,N0,V1,V2,V5,V6,V7
70      A1=1-FNF(B1)*(1-D1)
80      A2=1-FNF(B2)*(1-D2)
90      A5=1-FNF(B5)*(1-D5)
100     A6=1-FNF(B6)*(1-D6)
110     F1=Q1*(A1*A2-1)/V0
120     F2=Q2*(A5*A6-1)/V0
130     A9=F1+F2
140     P1=-(V7+A1*A2*V1+A2*V2+A5*A6*V5+A6*V6)/(A9*V0)
150     T1=LOG(0.5/(N0+P1)/V0)/A9
160     PRINT " BA1=";B1;"   BA2=";B2;"   BB1=";B5;"   BB2=";B6
170     PRINT " DA1=";D1;"   DA2=";D2;"   DB1=";D5;"   DB2=";D6
180     PRINT "   QA=";Q1;"    QB=";Q2;"    V0=";V0;"    N0=";N0
190     PRINT "VPA1=";V1;"  VPA2=";V2;"  VPB1=";V5;"  VPB2=";V6
200     PRINT "  VP0=";V7
210     PRINT "   A1=";A1;"    A2=";A2;"    B1=";A5;"    B2=";A6
215     PRINT "   F1=";F1;"    F2=";F2;"   CAB=";A9
218     PRINT
220     PRINT "REZULTAT:";"PSS=";P1;"      TSS=";T1
230     STOP
230     END
```

Fig. 12.16. Listingul programului în limbaj BASIC.

Scanned with OKEN Scanner

```
      REAL NO
      FE(X)=1-1/X
      READ(5,100) BA1,BA2,BB1,BB2,DA1,DA2,DB1,DB2,QA,QB,VO,NO,
     *VPA1,VPA2,VPB1,VPB2,VPO
100   FORMAT(17F15.7)
      A1=1-FE(BA1)*(1-DA1)
      A2=1-FE(BA2)*(1-DA2)
      B1=1-FE(BB1)*(1-DB1)
      B2=1-FE(BB2)*(1-DB2)
      FA=QA*(A1*A2-1)/VO
      FB=QB*(B1*B2-1)/VO
      CAB=FA+FB
      PSS=-(VPO+A1*A2*VPA1+A2*VPA2+B1*B2*VPB1+VP2*B2)/(CAB*VO)
      TSS=ALOG(0.5/(NO+PSS)/VO)/CAB
      WRITE(5,201)BA1,BA2,BB1,BB2
201   FORMAT(' BA1= ',E12.5,' BA2= ',E12.5,' BB1= ',E12.5,' BB2=
     *E12.5)
      WRITE(5,202)DA1,DA2,DB1,DB2
202   FORMAT(' DA1= ',E12.5,' DA2= ',E12.5,' DB1= ',E12.5,' DB2=
     *E12.5)
      WRITE(5,203)QA,QB,VO,NO
203   FORMAT(' QA= ',E12.5,' QB= ',E12.5,' VO= ',E12.5,' NO= ',
     *E12.5)
      WRITE(5,204)VPA1,VPA2,VPB1,VPB2,VPO
204   FORMAT(' VPA1= ',E12.5,' VPA2= ',E12.5,' VPB1= ',E12.5,' VPB2=
     *E12.5,' VPO= ',E12.5)
      WRITE(5,205)PSS,TSS
205   FORMAT(' *** REZULTAT ***   PSS= ',E12.5,' TSS= ',E12.5)
      STOP
      END
```

```
5.,2.,20.,1.,.05,.1,.1,0.,95.,35.,190.,5.3E5,2.E4,4.E6,2.5E4,0.,4.E7
A1=  0.75000E+02 BA2=   0.20000E+01 BB1=   0.20000E+02 BB2=   0.10000E+01
A1=  0.50000E-01 DA2=   0.10000E+00 DB1=   0.10000E+00 DB2=   0.00000E+00
A=   0.95000E+02 QB=   0.35000E+02 VO=   0.19000E+03 NO=   0.53000E+06
PA1=   0.20000E+05 VPA2=   0.40000E+07 VPB1=   0.25000E+05 VPB2=   0.00000E+00
** REZULTAT ***    PSS=   0.34693E+06  TSS=   0.30650E+02  VPO=   0.40000E+02
T7  --   STOP
```

Fig. 12.15. Listingul programului în limbaj FORTRAN.

```
2     REM    SE REDEFINESC URMATOARELE VARIABILE
4     REM   BA1=B1; BA2=B2; BB1=B5; BB2=B6
6     REM   DA1=D1; DA2=D2; DB1=D5; DB2=D6
8     REM   VPA1=V1;VPA2=V2;VPB1=V5;VPB2=V6;VP0=V7
10    REM    QA=Q1;   QB=Q2;   FA=F1;   FB=F2;CAB=A9;PSS=P1;TSS=T1
20    DEFFNF(X)=1-1/X
30    INPUT B1,B2,B5,B6
40    INPUT D1,D2,D5,D6
50    INPUT Q1,Q2
60    INPUT V0,N0,V1,V2,V5,V6,V7
70    A1=1-FNF(B1)*(1-D1)
80    A2=1-FNF(B2)*(1-D2)
90    A5=1-FNF(B5)*(1-D5)
100   A6=1-FNF(B6)*(1-D6)
110   F1=Q1*(A1*A2-1)/V0
120   F2=Q2*(A5*A6-1)/V0
130   A9=F1+F2
140   P1=-(V7+A1*A2*V1+A2*V2+A5*A6*V5+A6*V6)/(A9*V0)
150   T1=LOG(0.5/(N0+P1)/V0)/A9
160   PRINT " BA1=";B1;"   BA2=";B2;"   BB1=";B5;"   BB2=";B6
170   PRINT " DA1=";D1;"   DA2=";D2;"   DB1=";D5;"   DB2=";D6
180   PRINT "   QA=";Q1;"    QB=";Q2;"    V0=";V0;"    N0=";N0
190   PRINT "VPA1=";V1;" VPA2=";V2;" VPB1=";V5;" VPB2=";V6
200   PRINT " VP0=";V7
210   PRINT "   A1=";A1;"    A2=";A2;"    B1=";A5;"    B2=";A6
215   PRINT "   F1=";F1;"    F2=";F2;"   CAB=";A9
218   PRINT
220   PRINT "REZULTAT;";"PSS=";P1;"      TSS=";T1
230   STOP
230   END
```

Fig. 12.16. Listingul programului în limbaj BASIC.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. *Akers, R. I., Stenhouse, I. I. T.* **A Theoretical and Experimental Study of Particle Sampling from Hydraulic Systems.** Mechanical Engineering, nr. 11, 1976.
2. *Anton, I.* **Cavitația.** București, Editura Academiei, 1984.
3. *Anton, V., Popovici, M.* **Hidraulică și mașini hidraulice.** București, Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
4. *Backé, W.* **Dynamische Probleme bei Übertragung grosser hydraulischer Leistungen.** In : Olhydraulik und Pneumatik, 12 (1968), nr. 4.
5. *Berdnarski, S.* **Vergleich der Methoden zur Berechnung von Hydrozyklönen.** In : Chemische Technik, nr. 1, ianuarie, 1968.
6. *Bensch, L. E.* **Pump Contaminant Sensitivity Analysis.** Sixth Annual Fluid Power Research Conference. Oklahoma State University, S.U.A. 1972.
7. *Blume, K.* **Luft in hydraulische Systemen.** In : Ölhydraulik und Pneumatik, 16 (1972), nr. 9.
8. *Bohnet, M.* **Untersuchungen über die Trennwirkung und den Druckverlust von Hydrozyklonen.** In : Verfahrenstechnik, nr. 3/martie, 1969.
9. *Carver, L.* **Nature of Hydraulic Fluid Contamination.** National Conference on Fluid Power, octombrie, 1966.
10. *Cella, A. F.* **Filter System Analitical Performance Evaluation.** Parker Hannifin Corporation Filter Division Journal, 1984, Metamora.
11. *Collacott, R. A.* **Identification of Contaminants.** In : Mechanical Engineering, nr. 11 1976.
12. *Constantinescu, I., Golumbovici, D., Militaru, C.* **Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice.** București, Editura Tehnică, 1980.
13. *Cook, N. H., Rabinowicz, E.* **Physical Measurement and Analysis.** Addision-Wesley Publishing Comp., Massachusetts, Palo Alto, London, 1963.
14. *Cosoroabă, V., Demetrescu, Th., Georgescu, Gh.* **Acționări pneumatice.** București, Editura Tehnică, 1971.
15. *Mc'Crone, W. C., Draftz, R. G., Delly, I. G.* **The Particle Atlas.** Ann Arbor, Michigan, S.U.A. Ann Arbor Science Publishers Inc. P.O. Box 1425, 1967.
16. *Dallavalle, J. M.* **Micromeritics.** New York — London, Pitman Publishing Corporation, 1951.
17. *Day, M. J., Saunders, D. H.* **Die Wirkung von Betriebsbedingungen auf die Leistung hydraulischer Filter.** 4. Aachener Fluidtechnisches Kollocquium, 18—20 März, 1980, pp. 333—358.
18. *Dransfield, P., Bruce, D. M. și Wadsworth, M. A.* **General Approach to Hydraulic Look.** In : Hydraulic and Pneumtaic Power, september, 1968.
19. *Eckhardt, F.* **Druckflüssigkeiten.** Auswahl, Eigenschaften, Probleme, Anwendung. In : Ölhydraulik und Pneumatik, 24 (1980), nr. 4, pp. 275—279.
20. *Ene, H., Gogonea, S.* **Probleme în teoria filtrației.** București Editura Academiei R. S. România, 1973.
21. *Farris, I. A.* **Filters for Control of Silt and Abrasive Wear and for the Prevention of Chip Induces Failures in Machine Tool Hydraulic Systems.** Pall Corporation, 1970.
22. *Field, D.* **The Evolution of Testing Industrial Oil Hydraulic Filters.** In : Hydraulic Pneumatic Power, martie, 1973.
23. *Fitch, E. C.* **Contamination Levels and Tolerances in Hydraulic Systems.** National Conference on Fluid Power, octombrie, 1966.
24. *Fitch, E. C.* **Measuring Contaminant Tolerances in Terms compatible with Filtration Specification.** National Conference on Fluid Power, octombrie, 1969.
25. *Fitch, E. C., Tessmann, R. K.* **A Special Seminar Course on Fluid Contamination Control.** Fluid Power Research Center, Oklahoma State University, S.U.A., 1974.

Scanned with OKEN Scanner

26. *Fitch, E. C.* **Filter Selection Based on Component Sensitivity Analysis.** Society of Automative Engineers, 750847, S.U.A. 1975.
27. *Fitch, E. C.* **Fluid Contamination Control.** Its Technological Status. Eighth Annual Fluid Power Research Conference, Oklahoma State University, Stillwater, 8—9 October, 1974.
28. *Fitch, E. C.* **Component Contaminant Sensitivity.** A Status Report on Pumps. Eighth Annual Fluid Power Research Conference, Oklahoma State University, Stillwater, 8—9 October, 1974.
29. *Fitch, E. C.* **Ilustrated Lecture Notes.** Fluid Contamination Control. Bulletin No. 4017, April 1977, Fluid Power Research Center, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, U.S.A.
30. *Florea, J., Robescu, D.* **Hidrodinamica instalațiilor de transport hidropneumatic și de depolarea apei și a aerului.** București, Editura Didactică și Petagogică, 1982.
31. *Florea, J., Vasiliu, N.* **Acționări hidraulice.** Vol. I. Litografia I.P.B. București, 1984
32. *Florea, J., Robescu, D.* **Transportul hidraulic și pneumatic.** Litografia I.P.B., București, 1979.
33. *Foord, B. A.* **Computer Models Optimize Filter Selection.** In : Machine Design, May, 24, 1979.
34. *Gheorghiță, Șt. I.* **Introducere în hidrodinamica corpurilor poroase.** București, Editura Academiei R.S.R. 1969.
35. *Guillon, M.* **L'asservissement hydraulique et électrohydraulique,** Paris, Dunod, 1972.
36. *Hatton, E. R.* **Introduction to Hydraulic Fluids.** New York, Reinhold Publishing Corporation, 1962.
37. *Heywood, M.* **Particle Size Measurement by Microscope.** Particle Characteristics Conference, sept. 1967.
38. *Hlavitschka, E.* **Zur Filterung von Hydraulikölen.** In : Maschinenbautechnik, Berlin 22 (1983), 6, pp. 249—252.
39 *Ionescu, Fl., Catrina, D., Dorin A.* **Mecanica fluidelor și acționări hidraulice și pneumatice.** București, Editura Didactică și Pedagogică, 1980.
40. *Ionescu, Fl.* **Computer Aided Design of Hydraulic and Electrohydraulic Drive Installations.** Preprints of IX-th IFAC World Congress, Budapest, July 2—6, 1984, Volume VIII, pp. 274—279.
41. *Ionescu, Fl.* **Contribuții la studiul dinamicii lanțurilor cinematice ale mașinilor-unelte acționate hidrostatic cu reglare volumică continuă.** Teză de doctorat, Institutul Politehnic București, 1981.
42. *Ionescu, D.* **Introducere în hidraulică.** București, Editura Tehnică, 1977.
43. *Isaac, O.* **Les problèmes liés à la compressibilité de l'huile dans les éléments des transmissions hydrostatiques.** In : Energie fluide et lubrification, mai, 1970.
44. *Keller, G. H.* **Hydraulic System Analysis.** Penton — IPC — Inc. 1973.
45. *King, W H., Brater, L.* Handbook of Hydraulics. McGraw-Hill, 1963.
46. *Kirnbauer, A, E.* **Contamination Measurement in Hydraulic Fluids.** National Conference on Fluid Power, octombrie, 1969.
47. *Marin, V., Moscovici, R., Teneslav, D.* **Sisteme hidraulice de acționare și reglare automată.** București, Editura Tehnică, 1981.
48. *Mazilu, I., Marin, V.* **Sisteme hidraulice automate.** București, Editura Academiei R.S.R., 1982.
49. *Merrit, H. E.* **Hydraulic Control Systems.** John Wiley and Sons Inc., 1967.
50. *Mihăescu, B., Medar, S., Trică, V.* **Cercetări privind instalațiile pentru vehicularea și epurarea lichidelor de răcire-ungere la mașinile-unelte.** In : Construcția de mașini, nr. 12, 1977.
51. *Mihăescu, B., Medar, S., Trică, V.* **Studies on the Coolant Circulating and Lubrication Systems for Machine Tools.** Budapest, 8-th Machine Tool Congress, 1976.
52. *Motlle, R.* **Les composants hydrauliques et pneumatiques des automatismes, Paris, Dunod, 1967.**

Scanned with OKEN Scanner

53. *Morgan, V. T.* **Sintered Metal Filters.** In : Hydraulic Pneumatic Power, sept. 1974.
54. *Morton, C.* **Statistical Reliability of Particle Size Distributions Determined by Microscopic Techniques.** În : Industrial Hygiene Journal, 1975.
55. *Nichitim, G. A., Circov, C. V.* **Vlianie zagraznenosti jidcosti na nadejnosti raboti ghidrosistem letatelinih aparatov.** Moskva, Izdatelistvo Transport, 1969.
56. *Nonnenmacher, G.* **Auswirkungen der Ölkompressibilität auf die Funktion geschlossener Hydraulik Kreisläufe.** În : Ölhydraulik und Pneumatik, 16 (1972), nr. 6.
57. *Norvelle, F. D.* **Hydraulic Contamination from a User's Point of View.** În : Mechanical Engineering, nr. 10, 1976.
58. *Oliver, G. W.* **Economics of Contamination Control in Machine Tool Hydraulic Systems.** National Conference on Fluid Power and Fluid Power Society, Chicago, Illinois SUA, 1970.
59. *Oprean, A., Ionescu Fl., Dorin, Al.* **Acționări hidraulice. Elemente și sisteme.** București, Editura tehnică, 1982.
60. *Oprean A., Marin, V., Dorin A.,* **Acționări hidraulice.** București, Editura Tehnică 1976.
61. *Oprean, A., Dorin, A., Măsălar, L., Medar, S.* **Acționări și automatizări hidraulice.** București, Editura Tehnică, 1983.
62. *Piekaar, H. W., Clarenburg, L. A.* **Aerosol Filters Pore Size Distribution in Fibrous Filters.** În : Chemical Engineering Science, Marea Britanie, 1967.
63. *Povarov, A. I.* **Ghidroțiklonî.** Moscova, Gosgortehnizdat, 1968.
64. *Pugh, J.* **Modern Hydraulic Systems Demand Better Filtration.** În : Machine Design, August, 26, 1982.
65. *Pugh, J.* **Filtration for Todays Hydraulics.** Parker Hannifin Corporation Journal, Metamora, 1983.
66. *Reynolds, A. J.* **Curgeri turbulente în tehnică.** București, Editura Tehnică,1982.
67. *Reid., K. N.* **Dynamic Models of Fluid Transmission Lines.** În : Special Summer Courses Fluid Power Control, July, 1966, Massachussets Institute of Technology.
68. *Rietema, K.* **Performance and Design of Hydrocyclones.** În : Chemical Engineering Science, 1961.
69. *Rimmer, R.* **On the Prediction of the Reliability of Fluid Control Systems Components Subject to Particulate Contamination.** În : Mechanical Engineering, nr. 10, 1976.
70. *Roess, L. G.* **Control Contamination on Hydraulic Systems.** În : Moog Technnical Bulletin, 114, 1970.
71. *Stuntz, R. M.* **Probabilistic Geometry/Filtration Physics.** Fourth Annual Fluid Power Conference, Oklahoma State University, 1970.
72. *Sypitkowski, S. R.* **Basic Filtration Manual.** Parker Hannifin Corporation, U.S.A. 1975.
73. *Tsai, C. P., Farris, I. A.* **Multi-pass constant Flo Filters Test for Silt Control Hydraulic Filters.** National Conference on Fluid Power, Chicago, Illinois, U.S.A., 1975.
74. *Viersma, T.* **Analysis. Synthesis and Design of Hydraulic Servosystems and Pipelines.** Amsterdam, Oxford și New-York, Elsevier, 1980.
75. *Warring, R. H.* **Filters and Filtration.** Trade and Technical Press, Morden, Surrey England, 1969.
76. *Williams, J. L.* **Fluid Contamination Effects on Servovalve Performance.** În : Moog Technical Bulletin, 115, 1971.
77. *Wuest, W.* **Strömung durch Schlitz und Lochblenden bei kleiner Reynolds-Zahlen.** În : Inf. Arch., 22 (1954), 357.
78. Prospecte ale firmelor : Parker-Mannifin ; Rexroth ; Fairey ; Internormen-Filter Vickers ; Pall ; Purolator ;Boll & Kirch Filterbau ; Bound Brook Limited ; British Filters ; CAV diesel fuel filtration systems ; Johnson — Progress ; FISPA ; Lang-Pneumatic ; Philips-Filtration ; Vokes ; Poral ; Ugine-Carbon ; Sofrance ; Metafram ; UCC ; Cosema ; Hydac.

Scanned with OKEN Scanner

39

01000718

Aproximativ 65% din defecţiunile
instalaţiilor hidraulice şi pneumatice se datoresc
impurificării mediului fluid.
O analiză atentă
a modului de pătrundere,
a comportării şi îndepărtării contaminanţilor
din mediul fluid va permite creşterea siguranţei
în funcţionare a acestor instalaţii.

Lei 22,50

Scanned with OKEN Scanner